



Tesis – TE142599

**OTONOMI PERILAKU HEWAN VIRTUAL
MENGUNAKAN OPTIMASI PEMILIHAN AKSI
BERBASIS ALGORITMA GENETIKA**

**KRISNA YUWONO FORA
2211205431**

**DOSEN PEMBIMBING
Mochamad Hariadi, S.T, M.Sc, Ph.D
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST, MT**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



Thesis – TE142599

THE VIRTUAL ANIMAL BEHAVIOUR AUTONOMOUS USING OPTIMIZATION OF ACTION SELECTOR BASE ON GENETIC ALGORITHM

**KRISNA YUWONO FORA
2211205431**

**SUPERVISOR
Mochamad Hariadi, S.T, M.Sc, Ph.D
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST, MT**

**MAGISTER PROGRAM
INTELLIGENT NETWORK EXPERTISE MULTIMEDIA
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)**

**Di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Krisna Yuwono Fora
NRP. 2211205431**

**Tanggal Ujian
Periode Wisuda**

**: 15 Juni 2015
: September 2015**

Disetujui oleh :



1. Mochamad Hariadi, S.T, M.Sc, Ph.D

(Pembimbing I)

NIP : 196912091997021002



2. Dr. Supeno Mardi Susiki N, S.T, M.T

(Pembimbing II)

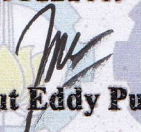
NIP. 197003131995121001



3. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T, M.T

(Penguji)

NIP. 196806011995121009

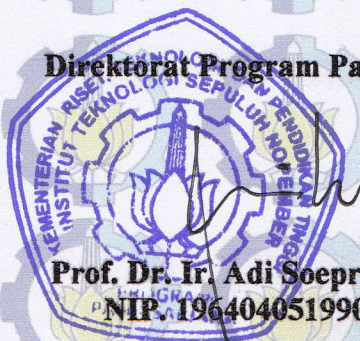


4. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T, M.T

(Penguji)

NIP. 196907301995121001

Direktorat Program Pasca Sarjana



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T

NIP. 196404051990021001

Otonomi Perilaku Hewan Virtual Menggunakan Optimasi Pemilihan Aksi Berbasis Algoritma Genetika

Nama Mahasiswa : Krisna Yuwono Fora
NRP : 2211205431
Pembimbing I : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
Pembimbing II : Dr. Supeno Mardi Susiki N, S.T, M.T

ABSTRAK

Karakteristik dan perilaku hewan memiliki keunikan masing-masing. Sedangkan hewan virtual lebih mudah diaplikasikan dan selalu hadir saat diperlukan. Penggunaan Algoritma Genetika (Genetic Algorithm) sangat bagus diaplikasikan pada hewan virtual karena memiliki keunggulan diantaranya: probabilitas angka random untuk mengatur keunikan data dan dapat mengoptimasi prioritas data yang terpilih. Pada riset ini, kami menggunakan metode Algoritma Genetika untuk menggerakkan aksi setiap perilaku pada hewan virtual. Inisialisasi data perilaku hewan dibutuhkan untuk awal pergerakan dan data acuan. Kami menggunakan kromosom rangkap tiga atau kami sebut triploid. Pada umumnya kromosom ada dua jenis: haploid dan diploid. Keuntungan kromosom rangkap tiga akan memberikan jangkauan nilai nominal dari minimum hingga maksimum. Pemanfaatan tiga kromosom paralel tersebut akan memberikan data pembandingan lebih bervariasi dan penggabungan dari ketiga nilai tersebut akan menghasilkan turunan yang tidak terlalu menyimpang dari nilai induk acuan.

Kata Kunci: perilaku agen, otonomi, *NPC*, algoritma genetika.

The Virtual Animal Behaviour Autonomous Using Optimization Of Action Selector Base On Genetic Algorithm

Student Name : Krisna Yuwono Fora
NRP : 2211205431
Supervisor : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
Co-Supervisor : Dr. Supeno Mardi Susiki N, S.T, M.T

ABSTRACT

The characteristics and behavior of animals have their uniqueness. While the virtual pet more easily to be applied and it's always present when needed. Genetic Algorithm is very nice applied to the virtual animal because it has advantages including: the probability of a random number to the unique set of data and it can optimize the data priorities chosen. At this research, we used a Algoritma Genetics method to drive the Action of each virtual animal behavior. Animal behavioral data initialization is required for the initial movement and reference data. We use a triplet chromosome or we called with name "diploid". In general, there are two types of chromosomes: haploid and diploid. Advantages triplet chromosome will provide coverage of the nominal value between minimum to maksimum range. The parallel utilization of three chromosomes will provide comparable data more varied and merging of these values will result in a derivative that is not too deviated from the reference value of the parent.

Keyword: behavior agent, *autonomos*, *NPC*, *genetic algorithm*.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena hikmat dan anugerahNya, penyusunan tesis dengan judul “**Otonomi Perilaku Hewan Virtual Menggunakan Optimasi Pemilihan Aksi Berbasis Algoritma Genetika**” dapat berjalan dengan lancar. Tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang konsentrasi Teknologi Permainan, bidang studi Jaringan Cerdas Multimedia, jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis memahami bahwa penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu proses penyusunan tesis ini, diantaranya:

1. Orang tua saya dan saudara-saudariku serta keluarga besarku yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam proses penyusunan tesis ini.
2. Seluruh jajaran Dosen JCM: Bapak Hariadi, Bapak Ukik, Bapak Akok, Bapak Surya, Bapak Ketut dan Bapak Prof Heri yang telah memberikan bimbingan serta pencerahan dalam penyusunan tesis ini.
3. Seluruh warga S2 *GameTech* terutama angkatan 2011, angkatan 2012 dan angkatan 2013 yang telah memberikan semangat kebersamaan dan banyak berdiskusi sehingga menambah pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan ini tesis ini. Saran dan kritik yang membangun dari para pembaca sangat penulis hargai agar dapat dilakukan perbaikan di waktu yang akan datang. Selain itu, penulis mengharapkan akan ada mahasiswa-mahasiswa lainnya yang tertarik dan mau melanjutkan penelitian ini sehingga didapatkan hasil penelitian yang lebih bagus lagi di masa mendatang.

Penulis.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Tujuan Penelitian	9
1.5. Manfaat Penelitian	9
BAB 2	11
2.1. Algoritma Genetika (Genetic Algorithm)	11
2.1.1. Enkoding (Encoding) dan Dekoding (Decoding)	12
2.1.2. Fungsi Fitnes (Fitness)	13
2.1.3. Operator Seleksi (Selection).....	13
2.1.4. Operator Persilangan (Crossover)	14
2.1.5. Operator Mutasi (Mutation)	14
2.1.6. Generasi GA	14
2.1.7. Steady State GA	15
2.2. Klasifikasi dan Perilaku Kuda (<i>Equus caballus</i>)	16
2.2.1. Klasifikasi Ilmiah	16
2.2.2. Perilaku Hewan Kuda.....	24
BAB 3	29
3.1. Desain Genotip (Genotype).....	29
3.2. Desain Fenotip (Phenoytpe).....	33
3.3. Desain Engine	34

3.4.	Inisialisasi Populasi	48
3.5.	Enkoding dan Dekoding	49
3.6.	Fungsi Fitnes.....	52
3.7.	Operator Seleksi	55
3.8.	Operator Persilangan (Crossover):	56
3.9.	Operator Mutasi.....	57
3.10.	Visualisasi Model 3D.....	59
BAB 4	61
4.1.	Perilaku hewan virtual tanpa target	61
4.2.	Perilaku hewan virtual dengan target makanan	66
4.3.	Perilaku hewan virtual dengan makanan beracun	72
4.4.	Perilaku hewan virtual dengan suhu panas.....	76
4.5.	Perilaku hewan virtual dengan suhu dingin.....	80
4.6.	Perilaku hewan virtual dengan makanan dan suhu.....	85
BAB 5	91
5.1.	Kesimpulan.....	91
5.2.	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	93
BIOGRAFI PENULIS	95

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Peta Kerangka Tulang / Armature	32
Tabel 3.2. Rotasi dan Skala dari Sendi Tulang.	32
Tabel 3.3. Pemetaan Prioritas Prilaku (Behavior Priority)	42
Tabel 3.4. Enkoding Kodon	49
Tabel 3.5. Dekoding Kodon Basis Tiga	49
Tabel 3.6. Dekoding Kodon Bineri Terurutkan	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Game Pony Trails.....	1
Gambar 1.2. Game Wild Horse Simulator	2
Gambar 1.3. Horse Simulator.....	2
Gambar 1.4. Game Ice Age Village buatan Gameloft	3
Gambar 1.5. Game Wonder Zoo	4
Gambar 1.6. Game World of Zoo	4
Gambar 1.7. Game My Horse	5
Gambar 1.8. Zoo Tycoon 2	6
Gambar 1.9. Algoritma Genetika dengan menambahkan fungsi Elitism.....	7
Gambar 1.10. Desain lingkungan 3D, hewan virtual dan objek bola-bola	8
Gambar 2.1. Mekanisme Algoritma Genetika.....	13
Gambar 2.2. Generasi GA [4, Hal 201]	15
Gambar 2.3. Steady State GA [4, Hal 202].....	15
Gambar 2.4. Kuda (Equus caballus)	16
Gambar 2.5. Morfologi kuda.....	17
Gambar 2.6. Organ-organ Pencernaan Pada Kuda.....	18
Gambar 2.7. Ginjal Pada Mamalia.....	19
Gambar 2.8. Paru-Paru Pada Mamalia.....	20
Gambar 2.9. Sirkulasi Pada Mamalia.....	21
Gambar 2.10. Jantung Pada Mamalia	22
Gambar 2.11. Kelenjar-Kelenjar Pada Mamalia :.....	23
Gambar 2.12. Sistem Saraf.....	24
Gambar 2.13. Monty Roberts sebagai pelatih kuda Kerajaan Inggris	25
Gambar 3.1. Pengerjaan metodologi penelitian	29
Gambar 3.2. Gen-gen indikator eksternal (lingkungan / environment)	30
Gambar 3.3. Gen-gen indikator internal (mahkluk / creature)	31
Gambar 3.4. Gen-gen indikator transformasi (kerangka / armature)	31
Gambar 3.5 Relasi Perilaku Antar Indikator.....	35
Gambar 3.6 Blok Dasar Optimasi dari GA Engine.....	36
Gambar 3.7. Blok Lengkap Optimasi dari GA Engine	37
Gambar 3.8. Flowchart untuk GA.....	38
Gambar 3.9. Hubungan antara State dengan OctoState.	41
Gambar 3.10. Selektor state gerbang NOR untuk input = 000.	43
Gambar 3.11. Selektor state gerbang NOR-AND untuk input = 001, 010 dan 100.	44
Gambar 3.12. Selektor state gerbang OR-NOT-AND untuk input = 011, 101 and 110.	44
Gambar 3.13. Selektor state gerbang OR untuk input = 111.	45

Gambar 3.14. Selektor Octostate	45
Gambar 3.15. Output 12 octostate mulai dari Output-0 hingga Output-11	46
Gambar 3.16. Input 12 octostate untuk mengaktifkan prioritas aksi yang dipilih.	47
Gambar 3.17. FSM Animasi.....	47
Gambar 3.18. Kromosom	48
Gambar 3.19. Nilai Optimal Kurva dari Fungsi Fitnes	53
Gambar 3.20. Persilangan terurut	56
Gambar 3.21. Persilangan terbalik	57
Gambar 3.22. Persilangan random	57
Gambar 3.23. NOT Bitwise.....	57
Gambar 3.24. OR Bitwise.....	58
Gambar 3.25. AND Bitwise	58
Gambar 3.26. XOR Bitwise.....	58
Gambar 3.27. Copy Bitwise	58
Gambar 3.28. Insert Bitwise	58
Gambar 3.29. Delete Bitwise.....	59
Gambar 3.30. Kuda 3D dengan kerangka / armature	59
Gambar 4.1. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak depan.	62
Gambar 4.2. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak samping.	62
Gambar 4.3. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak atas dengan aksi berstatus idle.....	63
Gambar 4.4. Bobot Gnome	63
Gambar 4.5. Gnome induk	64
Gambar 4.6. Generasi Pertama	64
Gambar 4.7. Generasi Terakhir	65
Gambar 4.8. Prioritas Pemilihan Aksi	65
Gambar 4.9. Fungsi Fitnes.....	66
Gambar 4.10. Kuda virtual 3D pada posisi awal dengan penambahan bola putih sebagai makanan.	66
Gambar 4.11. Kuda virtual 3D mendekati bola putih yang berjarak lebih dekat.	67
Gambar 4.12. Kuda virtual 3D memakan bola putih yang terdekat.	67
Gambar 4.13. Kuda virtual 3D mendekati bola putih selanjutnya.	67
Gambar 4.14. Kuda virtual 3D memakan bola putih selanjutnya.	68
Gambar 4.15. Kuda virtual 3D melakukan aksi idle setelah makan bola putih. ...	68
Gambar 4.16. Bobot gnome.....	69
Gambar 4.17. Gnome induk	69
Gambar 4.18. Generasi pertama	70
Gambar 4.19. Generasi terakhir.....	70
Gambar 4.20. Prioritas pemilihan aksi	71
Gambar 4.21. Fungsi fitnes.....	71
Gambar 4.22. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama-sama bola kuning.....	72

Gambar 4.23. Kuda virtual 3D mendekati bola kuning.	72
Gambar 4.24. Kuda virtual 3D menjauhi bola kuning.	73
Gambar 4.25. Bobot gnome	73
Gambar 4.26. Gnome induk	74
Gambar 4.27. Generasi Pertama.....	74
Gambar 4.28. Generasi Terakhir.....	75
Gambar 4.29. Prioritas pemilihan aksi.....	75
Gambar 4.30. Fungsi fitness	76
Gambar 4.31. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama bola merah (suhu panas)....	76
Gambar 4.32. Kuda virtual 3D berlari menghindari bola merah (suhu panas).	77
Gambar 4.33. Kuda virtual 3D berhenti setelah bola merah (suhu panas) di luar jangkauannya.	77
Gambar 4.34. Bobot Gnome	78
Gambar 4.35. Gnome induk	78
Gambar 4.36. Generasi pertama.....	79
Gambar 4.37. Generasi Terakhir.....	79
Gambar 4.38. Prioritas pemilihan aksi.....	80
Gambar 4.39. Fungsi fitness	80
Gambar 4.40. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama bola biru (suhu dingin).	81
Gambar 4.41. Kuda virtual 3D berjalan menghindari bola biru (suhu dingin).	81
Gambar 4.42. Kuda virtual 3D berhenti setelah bola biru (suhu dingin) di luar jangkauannya.	82
Gambar 4.43. Bobot gnome	82
Gambar 4.44. Gnome induk	83
Gambar 4.45. Generasi pertama.....	83
Gambar 4.46. Generasi Terakhir.....	84
Gambar 4.47. Prioritas pemilihan aksi.....	84
Gambar 4.48. Fungsi fitness	85
Gambar 4.49. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama beragam warna-warni bola.	86
Gambar 4.50. Kuda virtual 3D mulai memilih bola putih dan mengabaikan bola lainnya.	86
Gambar 4.51. Kuda virtual 3D menghindar ke tempat aman setelah selesai memakan bola putih.....	87
Gambar 4.52. Bobot gnome	87
Gambar 4.53. Gnome induk	88
Gambar 4.54. Generasi pertama.....	88
Gambar 4.55. Generasi terakhir	88
Gambar 4.56. Prioritas pemilihan aksi.....	89
Gambar 4.57. Fungsi fitness	90

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada umumnya perilaku hewan sangat beragam dan unik. Hal ini sangat bagus diterapkan pada peniruan perilaku pada hewan virtual. Game simulasi kebun binatang membutuhkan banyak karakter hewan virtual untuk menarik perhatian pemain. Perilaku ini masih sederhana dan belum memiliki keragaman gerakan tetapi hanya sebatas bergerak sesuai langkah-langkah aksi yang sudah ditetapkan sebelumnya. Sehingga pemain akan mudah bosan dengan aksi yang sudah diskenarioikan dan monoton.

Pada game simulator animal seperti Pony Trails, pemain masih berperan penting untuk mengendalikan setiap gerakan berjalannya kuda poni via gesture layar sentuh tablet dan menggunakan sensor dari gyrometer untuk berbelok. Sedangkan animasi gerakan baik berjalan maupun gerakan ekornya masih membutuhkan simpanan data scenario aksi dan digunakan berulang tanpa ada variasi tambahan yang spontanitas yang unik. Sehingga agen behavior masih mengikuti skenario yang sudah ditentukan sebelumnya alias belum memiliki inisiatif sendiri yang bebas ditransformasikan.



Gambar 1.1. Game Pony Trails.

Pada Game Wild Horse Simulator (Gambar 1.2) dan Game Horse Simulator (Gambar 1.3) merupakan game simulator untuk hewan kuda yang cara kerjanya hampir sama dengan Game Pony Trails (Gambar 1.1) dan masih memerlukan campur tangan pemain untuk mengendalikannya. Sehingga gerakan mudah diprediksi dan tidak memiliki keunikan saat animasi tersebut dimainkan berulang-ulang.



Gambar 1.2. Game Wild Horse Simulator



Gambar 1.3. Horse Simulator

Pada game Ice Age Village buatan Gameloft (Gambar 1.4) merupakan simulasi pembagunan desa yang dilakukan oleh tokoh-tokoh hewan purba dengan menekankan pada cerita menarik dan skenario yang terarah. Cerita dimulai ketika Scrat (sang tupai) berburu mencari buah pohon oak kesenangannya sampai menimbulkan retakan pada lapisan bumi yang membuat berbagai benua mulai

terbentuk. Sementara itu Manny (mammoth), Ellie (mammoth wanita), Diego (smilodon), dan Sid (sloth) memutuskan untuk membangun sebuah desa baru untuk binatang-binatang yang terhilang. Tugas pemain adalah membantu mereka sehingga desa mereka bisa cepat terbentuk dan binatang yang terhilang tersebut kembali berkumpul. Ice Age Village menjadi game yang menarik walau masih ada kelemahan pada agen behavior yang masih sederhana pada sisi perilaku AI-nya. Perilakunya hanya terbatas berjalan dan mengumpulkan koin yang animasinya diulang-ulang dan monoton. Kendali hewan-hewan tersebut masih dipegang penuh oleh pemain dan inisiatif sendiri hewan-hewan tersebut masih mengikuti skenario yang sudah ditentukan.



Gambar 1.4. Game Ice Age Village buatan Gameloft

Pada game Wonder Zoo (Gambar 1.5) merupakan game simulasi pembangunan kebun binatang. Mekanisme bermainnya hampir sama dengan game Ice Age Village, hanya saja pada game ini ditekankan pada pengumpulan macam hewan yang ditempatkan dalam satu lokasi agar bisa disaksikan oleh pengunjung kebun binatang. Aksi dan perilaku hewan-hewan tersebut lebih variatif. Agen behavior masih sederhana dan masih mengikuti inisiatif dari skenario yang sudah ditentukan sebelumnya. Akibatnya animasi perilaku dari virtual hewan sering berulang-ulang hingga akan membuat pemain menjadi jenuh dengan gerakan monoton.



Gambar 1.5. Game Wonder Zoo

Penggunaan kecerdasan pada agen behavior pada hewan virtual akan memberikan variasi perilaku yang tidak monoton dan mampu membuat aksi gerakan spontanitas yang unik. Kecerdasan pada agen behavior akan menarik minat pemain untuk mempelajarinya dan berusaha mencari akal untuk mengendalikannya secara tidak langsung dengan menggunakan objek lain. Pengendalian hewan virtual menggunakan perantara objek lain sebagai daya tarik akan memicu para pemain untuk memutar otak agar hewan mengikuti kehendak sang pemain tanpa menggunakan konsol input kendali secara langsung melainkan melalui interaksi dan respon terhadap objek lain objek lain sebagai pengendali.



Gambar 1.6. Game World of Zoo

Pada game World of Zoo (Gambar 1.6), pemain disuguhkan pilihan memelihara hewan virtual, yaitu zebra di kebun binatang. Hewan virtual zebra sudah memiliki interaksi dan merespon objek lain. Pemain dituntut agar memperhatikan perilakunya dan mampu memenuhi keinginannya dengan memanfaatkan benda-benda yang ada di tas. Gol yang diraih adalah hewan virtual tersebut menyukai apa yang pemain kerjakan dalam berinteraksi. Kendali tidak langsung dipegang sepenuhnya oleh pemain tetapi menggunakan perantara untuk meresponnya.



Gambar 1.7. Game My Horse

Pada game My Horse (Gambar 1.7), pemain disuguhkan pemandangan lingkungan 3D di kandang peternakan kuda. Pemain diajak berinteraksi langsung dengan hewan virtual kuda. Interaksinya ada dua, yaitu: secara langsung dengan menyentuh untuk memanggil mendekat dan memberikan objek lain agar diresponnya. Permainan menyaksikan skenario yang tertata bagus mulai dari tahap pengenalan hingga tahap joki kuda. Animasi gerakan masih dalam batas wajar sesuai skenario. Sehingga perilaku hewan virtual masih dikendalikan oleh skenario yang sudah ditentukan sebelumnya.

Pada game Zoo Tycoon 2, pemain diajak membangun kebun binatang dengan beraneka macam binatang virtual. Perilaku hewan lebih variatif dengan berbagai suguhan animasi setiap aksinya. Kendali ada dua jenis, yaitu: langsung menggunakan sentuhan di layar dan tidak langsung melalui perantara berupa objek makanan. Lingkungan sudah 3D sehingga hewan bias bergerak bebas di area

kandang yang ditinggali. Hewan virtual tersebut masih mengikuti kendali dari skenario yang sudah ditetapkan sebelumnya.



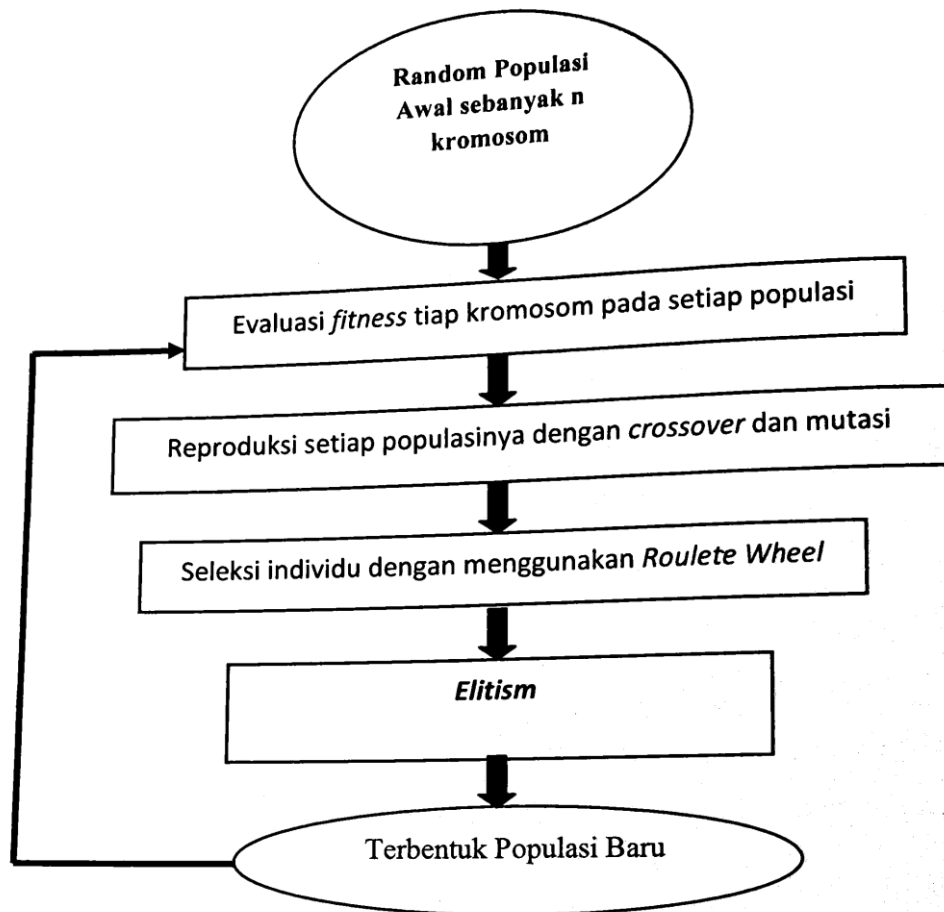
Gambar 1.8. Zoo Tycoon 2

Referensi peneliti mengacu pada metode yang digunakan oleh peneliti sebelumnya. Pada peneliti sebelumnya Anang Kukuh Adisusilo dalam buku tesisnya “Optimasi Perilaku Agen Pada Permainan Tinju Menggunakan Algoritma Genetika” tahun 2013. Dalam bukunya tersebut, Anang Kukuh Adisusilo menggunakan metode berbasis algoritma genetika dengan menambahkan fungsi elitism (Gambar 1.9) untuk mendapatkan optimasi perilaku petinju. Perilaku yang diinginkan adalah petinju mempunyai karakter menyerang atau bertahan.

Peneliti menggunakan algoritma genetika untuk menambahkan kecerdasan buatan pada agen behavior. Keuntungannya algoritma genetika adalah kemampuan menciptakan populasi baru yang variatif untuk dimasukkan pada agen behavior, yaitu: kemampuan membangkitkan data random yang bagus dan mendapatkan probabilitas nilai fitness terbaik.

Dalam hal ini, hewan virtual akan meniru data acuan yang diberikan agar sesuai dengan hewan aslinya. Pemrosesan data tersebut menggunakan algoritma genetika untuk memperoleh variasi unik sebagai ciri-ciri khusus tetapi tetap dalam koridor sesuai bobot masing-masing. Koridor merupakan jangkauan data minimum dan maksimum yang masih layak berdasarkan ciri-ciri umum. Sedangkan bobot merupakan untaian data dalam kromosom yang memiliki prosentasi sesuai

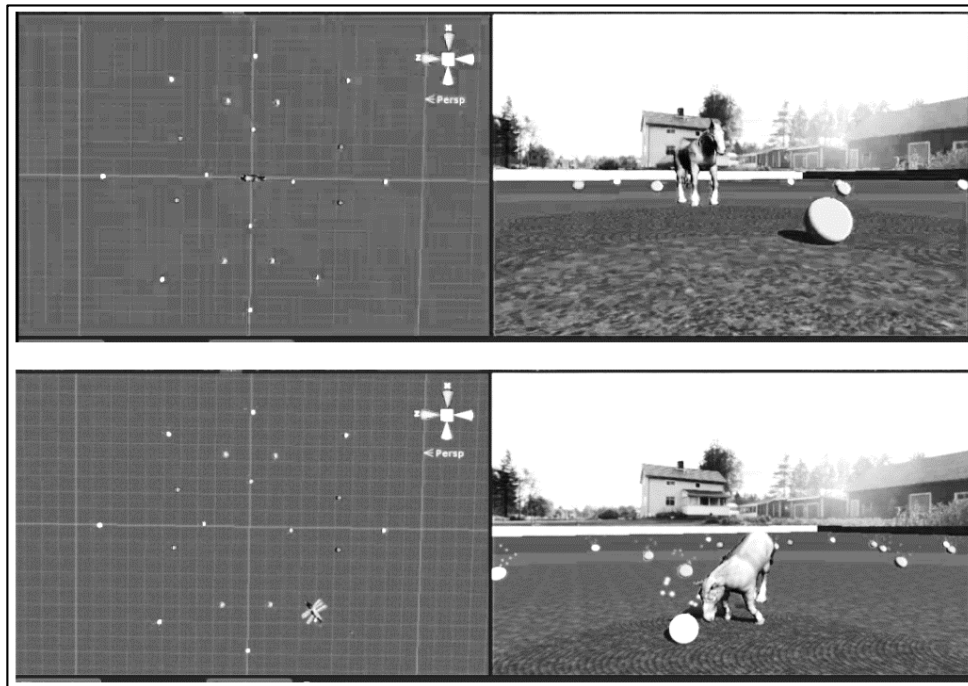
nominalnya. Proses ini menghasilkan data kromosom acuan sebagai cikal bakal individu baru. Hasil final dari kromosom acuan adalah lolos seleksi pada proses evolusi berdasarkan nilai fitness yang paling optimal.



Gambar 1.9. Algoritma Genetika dengan menambahkan fungsi Elitism

Kromosom acuan merupakan kromosom internal yang berfungsi sebagai pemilah antar aksi satu dengan aksi yang lain. Aksi merupakan kromosom aktual hasil proses algoritma genetika dengan mengambil data eksternal dicampur dengan sebagian populasi kromosom sebelumnya (kromosom internal). Sedang proses pemilahan aksi menggunakan perbandingan kromosom acuan dan kromosom aktual. Setiap aksi memiliki durasi sesuai data yang ada di kromosom aktual. Aksi dan durasi sangat berkaitan erat dalam menunjang perilaku hewan sesuai realita. Sehingga perilaku di sini dapat diartikan sebagai pengendalian pergerakan dari kumpulan aksi-aksi beserta durasinya untuk membentuk suatu isyarat atau makna tertentu.

Pada Gambar 1.10 merupakan desain lingkungan 3D, hewan virtual kuda selaku agen behavior yang memiliki kecerdasan dan objek bola bertindak sebagai alat interaksi untuk responnya hewan virtual.



Gambar 1.10. Desain lingkungan 3D, hewan virtual dan objek bola-bola

1.2. Rumusan Masalah

Perilaku hewan virtual belum memiliki inisiatif sendiri tetapi masih memerlukan campur tangan pemain dengan aksi gerakan yang sudah ditetapkan sebelumnya sesuai skenario. Hal ini akan membuat animasi dan simulasi hewan virtual kurang variatif karena gerakan animasinya mudah diperkirakan langkah-langkah selanjutnya. Sehingga gerakan menjadi monoton dan membosankan pemain saat dimainkan berulang-ulang.

1.3. Batasan Masalah

1. Algoritma Genetika digunakan untuk menentukan pilihan perilaku dan pergerakan untuk mendekati atau menjauhi benda-benda yang memiliki sifat bahaya ataupun yang bermanfaat.
2. Hewan virtual berupa objek kuda yang bergerak dalam bidang 3 dimensi
3. Target sensor statis

4. Lingkungan statis

1.4. Tujuan Penelitian

Diperoleh *behavior agent* berupa hewan virtual cerdas yang mampu menentukan aksi gerakan secara otonomi (inisiatif sendiri) untuk merespon benda-benda di sekitarnya dan setiap jenis aksinya memiliki keragaman gerakan tanpa ada skenario yang ditetapkan sebelumnya dengan menggunakan optimasi berbasis Algoritma Genetika (Genetic Algorithm).

1.5. Manfaat Penelitian

Peneliti berharap penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai alat pembelajaran bagi siswa dan terapi kesehatan menggunakan hewan virtual.
2. Dapat memberikan kontribusi pada perkembangan teknologi permainan terutama pada *Trainning and Learning Machine of Artificial Intelligence NPC*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Dasar-dasar teori menjelaskan tentang algoritma genetika dan teori tentang perilaku hewan dalam hal ini hewan yang dimaksud adalah kuda. Algoritma Genetika akan di jelaskan pada sub bab 2.1, sedangkan perilaku kuda dijelaskan pada sub bab 2.2.

2.1. Algoritma Genetika (Genetic Algorithm)

GA (Genetic Algorithm atau algoritma genetik) merupakan satu model mesin pembelajaran yang berasal dari perilaku metafora pada proses evolusi alam yang dicetuskan oleh Charles Darwin dalam bukunya “*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*” pada tahun 1859. Dalam buku tersebut berisi dua hal pokok, yaitu : spesies yang hidup di masa kini berasal dari spesies yang hidup di masa dulu, dan evolusi terjadi melalui proses seleksi alam. Setiap individu dalam satu spesies memiliki variasi gen karena kawin silang dan mutasi. Sedangkan sel yang membelah diri memiliki gen yang hampir identik dengan induknya. Individu yang sudah tercipta akan mengalami seleksi alam sesuai kemampuan bertahan berdasarkan variasi gen masing-masing. Individu yang berhasil menyesuaikan diri akan tetap hidup, sedangkan individu yang tidak dapat menyesuaikan diri akan binasa terseleksi alam.

Seleksi alam ada tiga mode berdasarkan fenotip yang diuntungkan: seleksi direksional, seleksi destruktif dan seleksi stabilisasi. Seleksi direksional terjadi ketika kondisi menguntungkan individu yang menunjukkan salah satu kisaran fenotipik yang ekstrem, sehingga menggeser kurva frekuensi untuk karakter fenotipik ke salah satu arah. Seleksi direksional umum terjadi ketika lingkungan populasi berubah atau ketika anggota populasi bermigrasi ke habitat yang baru. Misalnya, bukti fosil mengindikasikan bahwa ukuran rata-rata beruang hitam di Eropa meningkat selama masing-masing periode glasial yang membeku namun ukuran tersebut menurun lagi selama periode interglasial yang lebih hangat. Beruang yang lebih besar dengan rasio permukaan terhadap volume yang lebih kecil akan lebih mampu menjaga panas tubuh dan sintas melalui periode dingin yang ekstrim. Seleksi destruktif terjadi ketika kondisi menguntungkan individu pada kedua kisaran fenotip yang ekstrem daripada individu dengan fenotip intermediet. Salah satu contohnya adalah populasi finch pemecah biji perut-hitam di Kamerun. Anggota populasi tersebut menunjukkan dua ukuran paruh yang sangat berbeda. Burung berparuh kecil terutama memakan biji-bijian lunak, sedangkan burung berparuh besar adalah spesialis pemakan biji keras. Burung berparuh sedang tampaknya relatif tidak efisien dalam memecahkan kedua jenis biji tersebut, sehingga memiliki kebugaran relatif yang lebih rendah. Seleksi Penstabilisasi, bekerja dengan melawan kedua fenotipe ekstrem dan menguntungkan varian intermediet. Moda seleksi ini mengurangi variasi dan cenderung mempertahankan status quo bagi karakter fenotipik tertentu. Misalnya, bobot kebanyakan bayi manusia saat lahir berkisar antara 3-4 kg; bayi yang lebih kecil atau lebih besar memiliki tingkat mortalitas

yang lebih tinggi. Akan tetapi mekanisme dasar seleksi alam tetap sama. Seleksi menguntungkan individu dengan sifat fenotip terwariskan yang memberikan keberhasilan reproduktif lebih tinggi daripada individu lain.

Teori evolusi genetika dipelopori oleh George Mendel. Ia mengemukakan teori genetika yang menyangkut adanya sejumlah sifat yang dikode oleh satu macam gen. Dengan demikian banyaknya variasi alel menentukan kemampuan terhadap ketahanan untuk dapat terus hidup. Hanya saja pada zaman George Mendel, teori genetika belum dipahami dan belum diperkirakan dapat dimanfaatkan untuk menerangkan teori yang lain. Teori genetika mengalami stagnasi hampir selama 35 tahun sejak dikemukakan, dan baru disadari kegunaannya di awal abad ke-20.

Pada abad ini teori evolusi genetika mulai digunakan di bidang pembelajaran mesin berbasis algoritma genetika. Algoritma genetika digunakan untuk optimasi perhitungan digital pada komputer. Mesin pembelajaran ini akan melakukan proses evolusi dengan meniru cara kerja DNA dalam inti sel (pelajaran bidang biologi) untuk menciptakan populasi individu yang diwakili oleh kromosom. Setiap kromosom memiliki beberapa untai data yang disebut gen dan setiap gen mewakili data-data biner (digit 0 atau 1).

Di alam, pengkodean informasi genetik (GENOM) dapat diperoleh dengan dua cara: tak kawin (asexual) dan kawin (sexual). Gen yang didapatkan secara tak kawin akan mendapatkan keturunan yang identik dengan induknya. Sedangkan gen yang didapatkan dari hasil kawin akan mendapatkan keturunan yang berbeda atau perpaduan dari kedua belah pihak induk.

GA sudah diterapkan secara luas dalam disiplin ilmu pengetahuan dan penelitian. Umumnya siap diadaptasikan untuk problema-problema baru agar efisien untuk algoritma pencarian data terurut dengan cakupan minimum/maksimum suatu data. Penyelesaian lainnya mencari titik optimum dalam suatu puncak dan lembah kurva grafis. GA bersama-sama stochastic dan populasi berbasis alam dapat menghasilkan solusi optimal daripada menggunakan komputasi tradisional. [4, Hal 196].

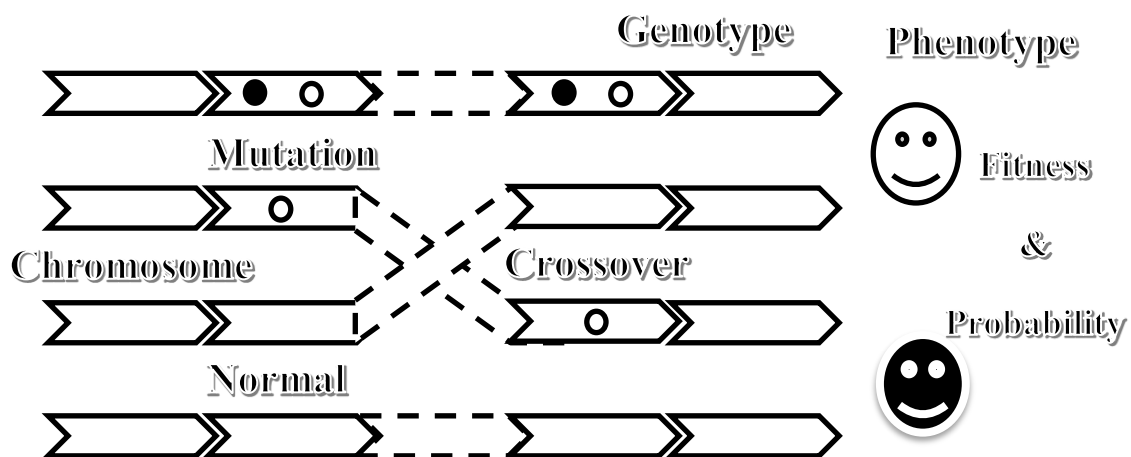
2.1.1. Enkoding (Encoding) dan Dekoding (Decoding)

Enkoding pada algoritma genetika merupakan proses penyandian data dari jenis data yang kompleksitasnya tinggi (data fenotip) menjadi data yang sederhana (data genotip) agar bisa dikawin-silangkan dan dimutasikan. Pada pertukaran data menggunakan persilangan akan mengambil sebagian data untuk dipertukarkan dengan data lainnya. Sedangkan mutasi hanya mengubah data bit dari 0 menjadi 1 atau sebaliknya. Setelah proses persilangan dan mutasi selesai maka proses selanjutnya adalah menerjemahkan kembali data genotip tadi menjadi data fenotip atau dikenal dengan proses dekoding.

Dekoding merupakan proses penerjemahan data genotip menjadi data fenotip untuk dilakukan evaluasi dengan mencari nilai fitness masing-masing data. Apabila populasi data

sangat banyak maka diperlukan perhitungan probabilitas untuk mendapatkan kemungkinan terbaik nilai fitness. Nilai fitness yang terbaik akan dijadikan induk baru untuk generasi data selanjutnya. Sedangkan nilai fitness terburuk akan digantikan oleh kombinasi dari indukan yang terbaik.

Data genetika menggunakan protein DNA dengan AGCT (adenine, guanine, cytosine dan thymine). Protein DNA 4 buah tadi tertata secara serial seperti tangga berulir membentuk informasi genetika atau dikenal dengan istilah *genome*. Setiap 3 kombinasi protein DNA disebut kodon. Kodon merupakan informasi data dengan memiliki kombinasi triplet protein DNA. Penerapan encoding dan dekoding pada algoritma genetika berdasarkan kodon tersebut. Protein DNA memiliki 4 jenis protein, sehingga data dapat dialokasikan sebanyak 2 bit. Sedangkan 1 kodon memiliki 3 protein DNA yang terkombinasi, sehingga kodon dialokasikan data sebanyak 3×2 bit sama dengan 6 bit.



Gambar 2.1. Mekanisme Algoritma Genetika

Data fenotip dan data genotip berhubungan erat dalam proses evolusi (Gambar 2.1). Data fenotip berisi data numerik untuk proses aritmatika mencari nilai fitness dan probabilitas, sedangkan data genotip berisi data biner untuk proses logika dalam operasi persilangan data dan mutasi bit. Sehingga diperlukan proses penyandian dan penerjemahan menggunakan operator encoding-decoding.

2.1.2. Fungsi Fitness (Fitness)

Fungsi fitness memproduksi generasi mendatang dari kromosom indukan dan mengembalikan kromosom selanjutnya yang bagus sebagai bibit unggul sesuai rumusan yang paling optimal. Sehingga nilai skor terbaik suatu fungsi fitness dapat menyeleksi indukan baru untuk reproduksi generasi selanjutnya.

2.1.3. Operator Seleksi (Selection)

Menyeleksi dua pasangan indukan yang memiliki skor nilai fitness terbaik atau mengacak pengambilan indukan guna mereproduksi generasi selanjutnya. Operator seleksi ada dua jenis, yaitu:

a. Selektor Roda Rolet (Roulette Wheel)

Selektor ini merupakan pengambilan indukan secara acak menurut cara kerja roda rolet untuk mereproduksi generasi selanjutnya.

b. Seleksi Turnamen (Tournament)

Seleksi ini merupakan pengambilan indukan yang memiliki nilai terbaik dan optimum untuk mereproduksi generasi selanjutnya.

2.1.4. Operator Persilangan (Crossover)

Masing-masing pasang indukan dikawin-silangkan secara acak antar masing-masing untai data bit kromosom dengan pasangannya untuk mereproduksi generasi selanjutnya. Biasanya populasi awal akan terasa besar tetapi hal ini akan konvergen pada generasi mendatang. Ada dua jenis persilangan:

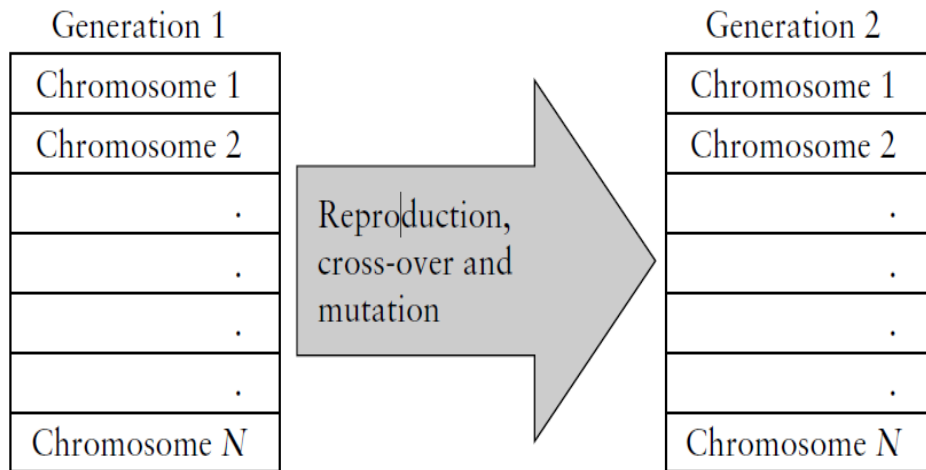
a. Single Point Crossover

b. Uniform Crossover

2.1.5. Operator Mutasi (Mutation)

Mutasi juga berperan baik pada proses perubahan informasi genetik dalam hal ini mengubah data secara langsung di bagian kromosom. Ada dua model operasi mutasi dalam GA, yaitu: random dan non-random. Sebaiknya menggunakan operasi mutasi non-random untuk menjaga skor nilai fitness tidak terlalu jauh jaraknya. Setiap lokasi untai data bit kromosom dapat dimutasi dengan sedikit acak.

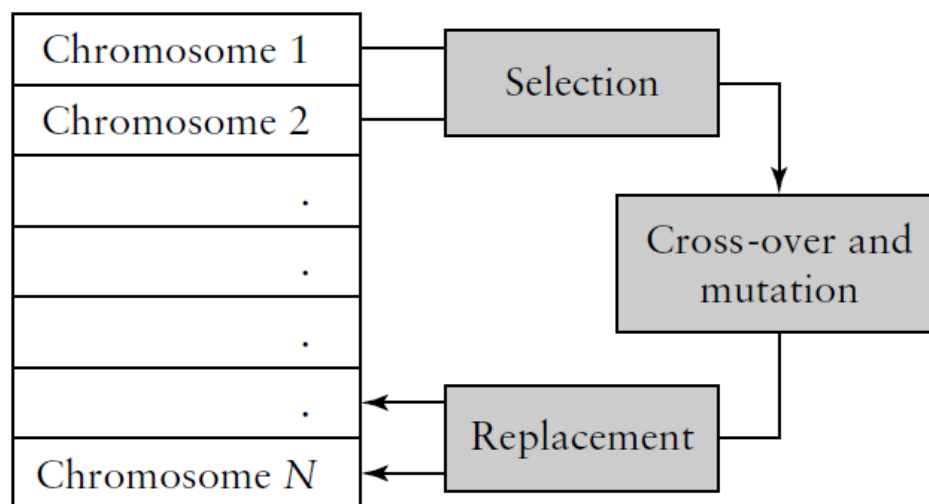
2.1.6. Generasi GA



Gambar 2.2. Generasi GA [4, Hal 201]

Generasi GA (Genetic Algorithm) diawali dengan pembangkitan populasi secara acak berupa kromosom (chromosome) jumlahnya sebanyak N. Sedangkan generasi selanjutnya menggunakan algoritma genetika dengan reproduksi dari penyilangan dan mutasi induk generasi sebelumnya sehingga menghasilkan bibit keturunan pada generasi selanjutnya (Gambar 2.2).

2.1.7. Steady State GA



Gambar 2.3. Steady State GA [4, Hal 202]

Steady State GA merupakan metode dari Algoritma Genetika guna seleksi dua induk yang terunggul kemudian dikawin-silangkan dan dimutasi sehingga mendapatkan dua bibit keturunan sebagai pengganti dua induk yang terburuk dalam generasi sebelumnya (Gambar 2.3).

2.2. Klasifikasi dan Perilaku Kuda (*Equus caballus*)

2.2.1. Klasifikasi Ilmiah



Gambar 2.4. Kuda (*Equus caballus*)

Nenek moyang Kuda : *Equus* (Amerika Utara)

Daerah Menyebaran : Asia, Eropa, Afrika

Pada Akhir Pleistocene, *Equus* musnah

Ras Kuda : Asia, Eropa Torpan, Przewalsky

Kerajaan : Animalia

Filum : Chordata

Kelas : Mammalia

Ordo : Perissodactyla

Famili : Equidae

Genus : *Equus*

Spesies : *Equus caballus*

Kuda (*Equus caballus* atau *Equus ferus caballus*) adalah salah satu dari sepuluh spesies modern mamalia dari genus *Equus*. Hewan ini telah lama merupakan salah satu hewan peliharaan yang penting secara ekonomis dan historis, dan telah memegang peranan penting dalam pengangkutan orang dan barang selama ribuan tahun (Gambar 2.4).

A. Morfologi



Gambar 2.5. Morfologi kuda.

Kuda memiliki tubuh yang tertutupi rambut walaupun pada tubuhnya rambut tersebut tidak terlihat jelas (Gambar 2.5). Rambut-rambut tersebut berfungsi sebagai pelindung tubuh dari pengaruh panas dan dingin. Pada bagian atas antara kepala dengan leher terdapat rambut yang tebal dan banyak, begitu juga pada bagian ekor. Hampir sama juga dengan hewan lainnya pada kelas mamalia, kuda memiliki mata, hidung, mulut, daun telinga, berkaki empat, dan mempunyai ekor. Kuda memiliki jari yang ganjil sehingga termasuk kedalam kelompok mamalia berjari ganjil (*perisodactya*) dan disetiap kaki hanya memiliki satu kuku (berkuku satu). Pada kuda betina memiliki kelenjar susu/mammae (glandulamammae).

B. Anatomi

1. Di dalam mulut terdapat langit-langit atas yang keras dan bagian belakangnya lunak. Kelenjar pencernaannya berupa 4 pasang kelenjar ludah, hati dan kandung empedu dan pankreas.
2. Dengan 2 lobus paru-paru masing-masing di dalam ruang pleura yang terpisah. Terdapat laring yang beratap epiglottis sebagai alat suara.
3. Terdapat 2 buah vena cava anterior kiri dan kanan. Jantung beruang 4 dengan sekat sempurna. Sel darah merah tidak berinti
4. Sepasang ginjal bertipe metanefros, bentuk seperti kacang kapri. Ruang ginjal dengan kantung kemih dihubungkan oleh sepasang ureter. Urin keluar lewat lubang urogenitalis.
5. System saraf pusat: serebrum dan serebelum relative besar; terdapat 12 pasang saraf cranial.

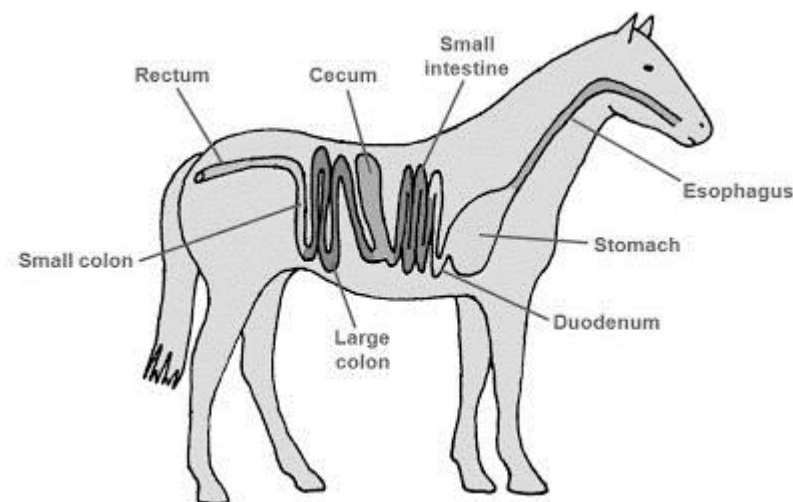
6. Lubang genital dan anus terpisah. Hewan jantan mempunyai alat reproduksi berupa penis sedangkan hewan betina berupa vagina. Tetis menghasilkan spermatozoid dan berada dalam saku skotum. Ovum sangat kecil.

C. Sistem Gerak

Pada mamalia memiliki dua pasang alat gerak dengan bermacam-macam bentuk untuk berjalan, memegang, memanjat, berenang, tergantung spesiesnya. Pada kuda anggota geraknya berupa sepasang kaki depan dan belakang yang berfungsi untuk berjalan dan berlari. Kuda memiliki jari yang ganjil sehingga termasuk kedalam kelompok mamalia berjari ganjil (*perisodactyla*) dan disetiap kaki hanya memiliki satu kuku (berkuku satu).

D. Sistem Pencernaan

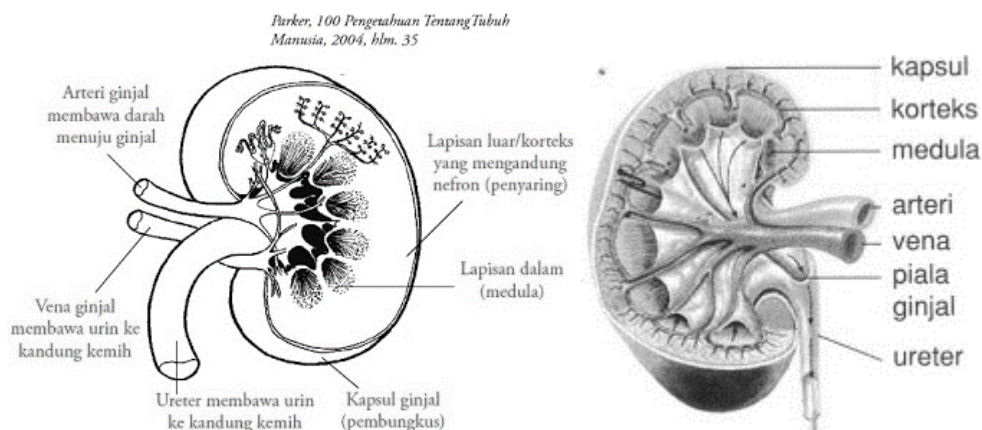
Saluran *gastrointestinal* adalah saluran yang bersifat musculo-membranosus (berupa membran berotot) yang memanjang mulai dari mulut hingga anus. Pada kuda panjang saluran membran mukosa ini diperkirakan 100 kaki dan berfungsi dalam ingesti (masuknya makanan ke dalam mulut), menggiling, mencampur, pencernaan, dan penyerapan makanan dan pengeluaran limbah padat. Organ-organ pencernaan kuda (Gambar 2.6) dimulai dari mulut, *pharynx*, *esophagus*, lambung, usus halus, usus buntu, usus besar, dan anus. Kuda pada dasarnya adalah hewan yang suka merumput, usus kuda telah dirancang untuk menerima sejumlah kecil serat makanan dengan *intake* yang teratur dan memerlukan suplai makanan yang konstan tanpa pernah melebihi kemampuan sistem yang ada.



Gambar 2.6. Organ-organ Pencernaan Pada Kuda

E. Sistem Ekresi

Sistem ekresi (Gambar 2.7) berawal dari ginjal, ginjal berbentuk seperti biji kacang, ruang median ginjal yang disebut pelvis renalis berhubungan dengan kandung kemih melalui ureter. Dari kandung kemih mengeluarkan uretra yang akan mengeluarkan urin melalui saluran urin. Domba dominan sudah memiliki saluran yang terpisah, tidak seperti hewan vertebrata lain yang menggunakan kloaka. Domba memiliki saluran pembuangan sisa pencernaan melalui anus, urin melalui uretra, dan saluran reproduksi melalui vagina atau penis.

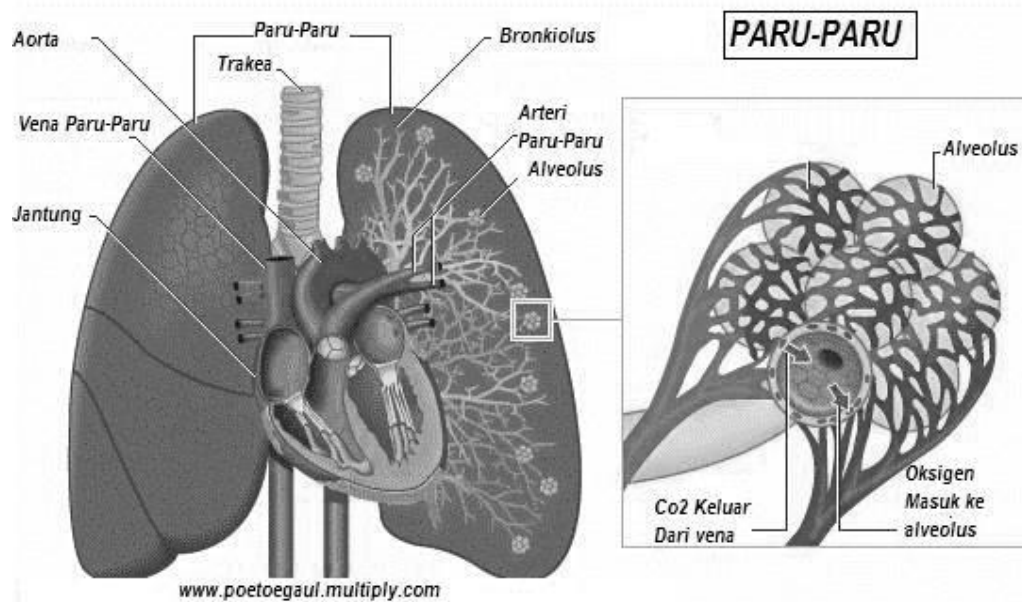


Gambar 2.7. Ginjal Pada Mamalia.

F. Sistem Pernafasan

Oksigen merupakan sesuatu yang keberadaannya sangat vital dalam kehidupan. Fungsi utama dari sistem respirasi adalah mensuplai oksigen ke dalam jaringan dan mengeluarkan karbondioksida. Sistem respirasi juga berperan penting dalam mengatur suhu tubuh, dan pengeluaran air (cairan tubuh) serta terdiri dari rangkaian aliran udara yang menghubungkan antara paru-paru dan udara luar dimana organ yang berperan dalam hal ini meliputi *nasal cavity*, *pharynx*, *larynx*, *trachea*, *bronchi*, dan *lungs* (paru-paru). Jalan masuk ke rongga hidung dilindungi oleh nostril, dimana pada kuda adalah vaskuler, lembut, lunak, dan bisa luas berdilatasi. Muzzle terdiri dari rambut-rambut tentakel dan merupakan organ yang sensitif untuk meraba dan muzzle juga berfungsi memastikan makanan tepat untuk dimasukan ke ruang mulut dalam arti memegangnya. Rongga hidung dilapisi oleh membran mukosa yang mampu menghangatkan udara inspirasi. *Pharynx* merupakan ruang bersama antara saluran hidung dan mulut, *larynx* menjagamasuknya objek lain ke dalam trakhea pada saat inspirasi dan mengatur aliran udara. Lekuk kartilago disebut juga *epiglottis* menutup aliran udara pernafasan ketika menelan makanan. *Larynx* juga sebagai organ suara utama dan memuat tali suara. Trakhea adalah pipa panjang yang bersifat *noncollapsible* artinya saluran udara tersebut tidak akan melipat, menghubungkan kerongkongan ke paru-paru pada bagian ujung bercabang membentuk bronchi, yang terus kemudian membentuk bronchioli. Paru-paru (Gambar 2.8) berpasangan dan berisi banyak kantung udara dimana terjadi pertukaran gas antara udara dan kapiler-kapiler pulmonary.

Pergerakan keluar masuknya udara kedalam paru-paru (respirasi) dicapai oleh adanya kontraksi dan relaksasi dari diafragma dan otot-otot intercostae. Tingkat respirasi tergantung pada keperluan jaringan akan oksigen. Sistem syaraf yang terlibat memiliki sistem yang rumit untuk mengontrol tingkat respirasi. Normalnya dalam kondisi istirahat seekor kuda akan bernafas 8-16 kali permenit dan akan meningkat tajam selama beraktifitas.



Gambar 2.8. Paru-Paru Pada Mamalia

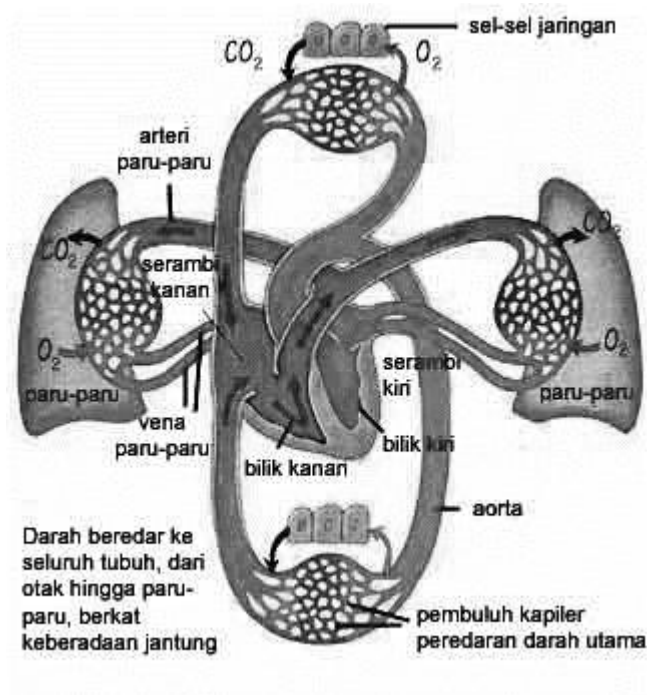
G. Sistem Sirkulasi

Untuk menghasilkan energi secara aerob, maka oksigen harus dikirim ke otot dengan cepat dan efisien melalui darah yang dipompakan oleh jantung melalui arteri, lalu kapiler darah yang kecil yang mensuplai serat-serat otot. Kondisi homeostasis internal dipertahankan di dalam tubuh kuda oleh adanya sirkulasi darah. Darah disebut sebagai 'pusat kehidupan' karena keberadaannya sebagai cairan penting yang menyebar di dalam jaringan tubuh untuk mendukung kehidupan. Beberapa fungsi dari darah adalah:

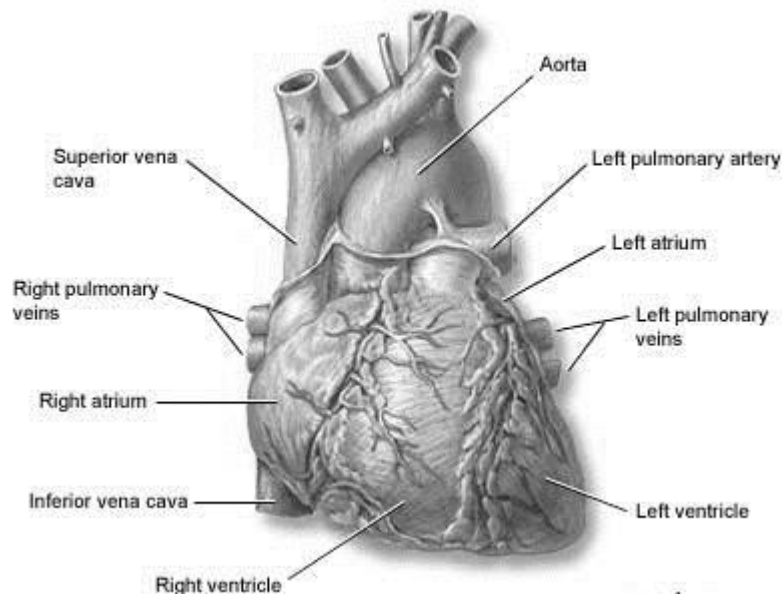
1. transportasi nutrisi dari saluran ke jaringan.
2. mengeluarkan produk sisa metabolisme.
3. transport oksigen ke dalam jaringan.
4. transport sekresi endokrin.
5. penyetaraan kandungan air.
6. pengatur suhu tubuh.
7. pengatur kadar asam tubuh.

8. pertahanan untuk melawan mikroorganisme.
9. kekebalan penyakit.
10. reaksi alergi.

Sistem sirkulasi (Gambar 2.9) terdiri dari jantung (Gambar 2.10) dan sistem pembuluh darah diseluruh tubuh. Arteri-arteri mempunyai dinding yang tebal, merupakan pembuluh-pembuluh otot yang membawa darah dari jantung. Pembuluh-pembuluh ini bercabang dan ukurannya semakin kecil dan berkembang menjadi arteriol (arteri-arteri kecil) dan akhirnya menjadi apa yang disebut *capillary bed* (tempat pertukaran cairan dan nutrisi). Kapiler-kapiler bersatu membentuk vena kecil, dan vena-vena ini bergabung membentuk vena dengan ukuran besar yang kembali membawa darah menuju jantung. *Arteri pulmonalis* membawa darah miskin oksigen dari jantung ke paru-paru, dan darah kaya akan oksigen dikirim kembali menuju jantung lewat *vena pulmonalis*. Jantung yang besar dan organ yang berotot pada kuda, baik sekali sebagai pembantu dalam sisitem sirkulasi. Akan tetapi terdapat kontrol syaraf yang rumit dari jantung yang dapat berubah dengan tajam terhadap kecepatan ritme jantung pada variasi kondisi fisiologis. Menurut *Evans 1989*, kecepatan denyut jantung pada kuda dewasa antara 36-40 kali permenit, dimana kecepatan ini agak sedikit lebih rendah pada kuda jenis *draft* (kuda berdarah dingin) dan agak sedikit lebih tinggi pada kuda-kuda *thoroughbred* (kuda berdarah panas) . Kecepatan denyut jantung dipengaruhi oleh faktor-faktor fisiologis seperti rangsangan, latihan gerak otot, temperatur lingkungan, pencernaan, tidur, dan kondisi variasi penyakit.



Gambar 2.9. Sirkulasi Pada Mamalia



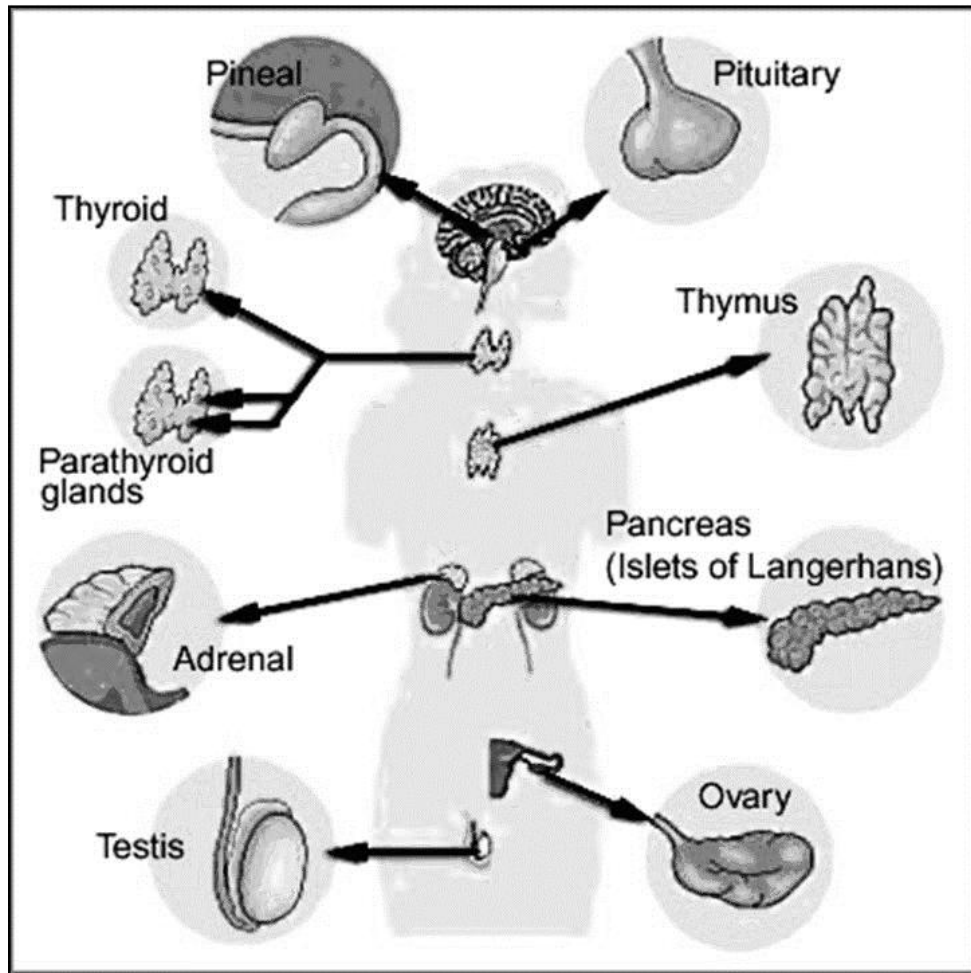
Gambar 2.10. Jantung Pada Mamalia

H. Sistem Endokrin

Sistem endokrin (Gambar 2.11) adalah sistem yang berfungsi untuk memproduksi hormon yang mengatur aktivitas tubuh. Terdiri atas kelenjar tiroid, kelenjar hipofisa/putuitari, kelenjar pankreas, kelenjar kelamin, kelenjar suprarenal, kelenjar paratiroid dan kelenjar buntu.

Fungsi Kelenjar Endokrin :

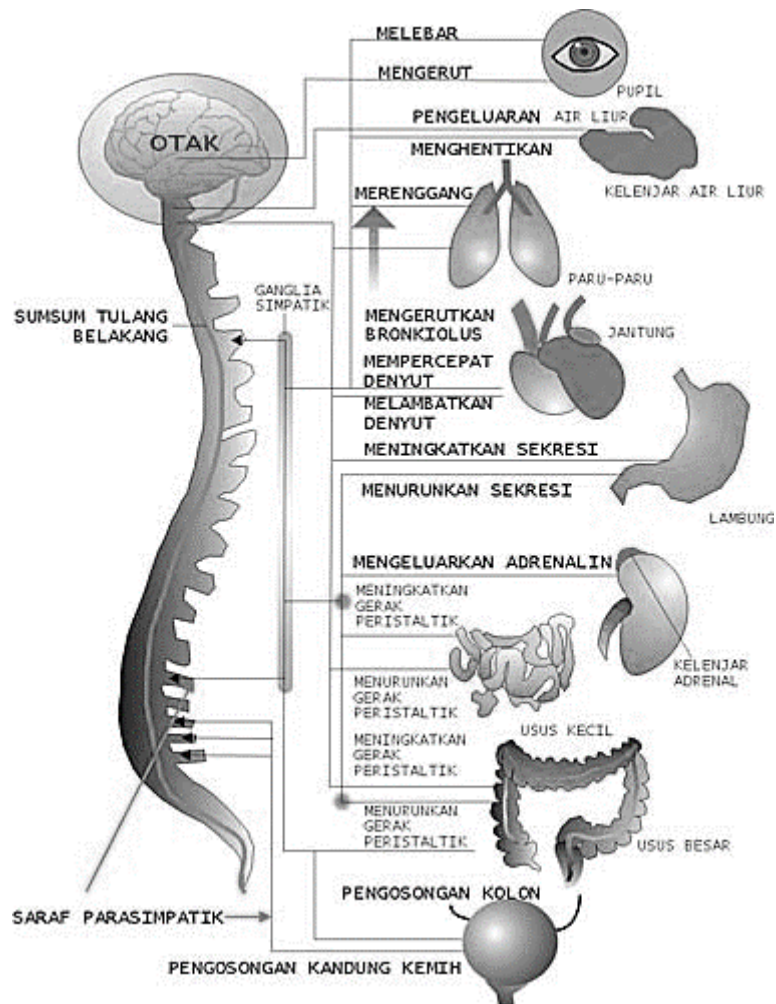
1. Menghasilkan hormon-hormon yang dialirkan ke dalam darah yang diperlukan oleh jaringan-jaringan dalam tubuh tertentu.
2. Mengontrol aktifitas kelenjar tubuh.
3. Merangsang aktifitas kelenjar tubuh.
4. Merangsang pertumbuhan jaringan.
5. Mengatur metabolisme, oksidasi, meningkatkan absorpsi glukosa pada usus halus.
6. Mempengaruhi metabolisme lemak, protein, hidrat arang, vitamin, mineral dan air.



Gambar 2.11. Kelenjar-Kelenjar Pada Mamalia :

I. Sistem Koordinasi

Sistem koordinasi (Gambar 2.12) merupakan system saraf (pengatur tubuh) berupa penghantar impuls saraf ke susunan saraf pusat, pemrosesan impuls saraf dan perintah untuk memberi tanggapan rangsangan atau sistem yang mengatur kerja semua sistem organ agar dapat bekerja secara erasi. Sistem koordinasi pada hewan meliputi sistem saraf beserta indera dan sistem endokrin(hormon). Sistem saraf merupakan sistem yang khas bagi hewan, karena sistem saraf ini tidak dimiliki tumbuhan. Sistem saraf yang dimiliki oleh hewan berbeda-beda, semakin tinggi tingkatan hewan semakin kompleks sistem sarafnya.



Gambar 2.12. Sistem Saraf

J. Sistem Reproduksi

Perilaku kawin kuda sangat berbeda dari hewan lain. Kuda bertanggung jawab atas segala sesuatu dalam reproduksi, termasuk periode kehamilan, laktasi, kelahiran dan siklus estrus. Kuda memiliki dua ovarium dari 7-8 cm panjangnya. Seorang peternak kuda harus mengetahui siklus reproduksi ternak kudanya. Kuda betina dan kuda jantan kawin satu sama lain pada waktu tertentu dan kesempatan. Perilaku perkawinan kuda menunjukkan bahwa mereka tidak biasanya kawin dalam lingkungan sosial. Kuda-kuda membutuhkan banyak ruang terbuka untuk melakukan proses perkawinana.

2.2.2. Perilaku Hewan Kuda



Gambar 2.13. Monty Roberts sebagai pelatih kuda Kerajaan Inggris

Monty Roberts (lahir 14 Mei 1935) dikenal sebagai pelatih kuda (Gambar 2.13). Tapi ia pelatih kuda yang unik dan istimewa. Ia terkenal lewat buku otobiografinya yang terbit pada tahun 1996, berjudul, *The Man Who Listens to Horses* dan menjadi buku Best seller dunia, bertahan selama 58 minggu di daftar buku terlaris New York Times. Suatu peristiwa yang mengubah arah hidup Roberts adalah sebuah panggilan yang datang dari kantor Ratu Elizabeth II. Sebagaimana bukan rahasia lagi, sang ratu adalah pencinta kuda yang fanatik. Dia telah mendengar reputasi Roberts dan mengundangnya datang ke negaranya dan diharapkan dapat menunjukkan kepada para staf kerajaan bagaimana metode pelatihan kudanya itu. Dan setelah menyaksikan demonstrasinya, Ratu mendesak Roberts untuk menulis buku tentang metode pelatihan kuda tanpa kekerasan yang ditunjukkannya tersebut.

Perilaku kuda memiliki banyak ragamnya dan unik. Adakalanya penurut dan pada saat lain agresif, itu semua karena kondisi psikologis berperan penting untuk mempengaruhi perilaku di lingkungan yang ditinggali. Tingkah laku ingestif atau makan :

- Bibir atas tebal (dewasa) dan aktif ,
- Mendorong rumput ke antara gigi seri atas dan gigi seri bawah untuk dipotong dan dikunyah.
- Rumput yang lepas akan dikumpulkan dengan bibir dan lidah.
- Rumput diberikan *ad libitum* ♦ makan tidak teratur, mengunyah rumput kering (2 kg) 60 / 65 – 70 / 80 kali tiap menit.
- Apabila kelelahan kuda tidak mau langsung makan.
- Jika terjadi defisiensi gizi (mineral), kuda menggigit palang pintu atau apa saja, walau rumput banyak.
- Anak kuda mencoba makan pada umur 5 – 10 hari (meniru) apa yang dilakukan induknya.
- Ikatan sosial induk dan anak kuat.

- Anak kuda biasa makan berak (coprophagi) dewasa yang masih segar : \Rightarrow mikroba perut.

Tingkah laku kuda dalam pengenalan lingkungan menggunakan defekasi atau urinisasi. Tahap-tahap defekasi /urinisasi :

1. Apetitif : pengenalan tempat tinggal dengan mencium bau
2. Konsumatoris : ekor diangkat, kemudian defekasi
3. Refraktoris : tempat berak dicium-cium lalu ditinggalkan.
 - Jantan biasanya membelakangi lahan tempat defekasi, sementara betina meng-hadapi lahan dan beraknya.
 - Betina beranak posisi beraknya lebih hati-hati agar tidak mengotori puting susu.
 - Kuda yang sehat berak : 5 – 12 kali/ hari. kuda lemah / sakit : 7 – 11 kali/hari.
 - Defekasi dipengaruhi oleh iklim dan sifat makanan.

A. INVESTIGATORI

- pengenalan terhadap benda-benda sekitarnya (saat kecil : imprinting)
- home range : mengenal wilayah, sama seperti kucing dan anjing menggunakan indra penciuman
- menggunakan semua indera untuk mengenali lingkungan yang ditinggali
- objek yang asing akan dikelilingi dulu, lalu didekati dan diciumnya untuk menentukan apakah kuda akan menerima atau menolak
- Kuda terlatih untuk pengembalaan (cowboy) akan mampu mencium bau sapi sampai dengan. 700 m

B. MEMBERSIHKAN DIRI

- saling memberikan gigitan enteng terhadap sahabat yang lama berpisah
- badan kotor / gatal : digosokkan pada benda lain
- menolak : digosok di sekitar kepala, telinga, dan bawah perut
- untuk kuda yang baru dikenal sebaiknya di-gosok di bagian leher, gumba dan punggung.

C. ISTIRAHAT

- Dalam kelompok, kuda tidak semuanya istirahat / tidur tetapi ada seekor tetap terjaga meskipun kelihatannya tidur, dan akan bereaksi terhadap gerakan asing meskipun gerakan ringan.

- Dua sikap berbaring:
 - * Kaki depan ditekuk dibawah badan, dada kontak dengan tanah tetapi tidak menahan badan, kepala terangkat/tegak
 - * Berbaring di salah satu sisi, kaki dijulurkan, kepala diletakkan di atas tanah pada sebelah pipi.
- Bangun : bagian depan lebih dahulu diangkat

D. TIDUR.

Kuda bisa tidur : Selama 7 – 24 jam, berdiri / berbaring di bawah panas matahari dan jarak dan lama tidur bias teratur tergantung pada derajat lapar dan iklim

- Anak kuda : cara beristirahat lebih sering dengan berbaring (sampai dengan usia 3 bulan)
- Kuda dewasa : istirahat berdiri dengan struktur otot kaki depan sangat kuat

E. MASA PERTUMBUHAN :

- Istirahat makin kurang
- Menyusu kurang
- Kegiatan merumput meningkat
- Diselingi tingkah laku main dengan temannya
- Anak kuda yang baru lahir masih acuh terhadap tingkatan sosial. Induk menghalanginya bila bergaul dan anak kuda mampu menghindar.
- Anak kuda umur 2 minggu bermain sendiri atau bermain dengan induknya.
- Anak kuda umur 8 minggu bermain dengan teman, manusia atau anjing.
- Anak kuda yang sudah mandiri akan menaruh perhatian terhadap teman sekelompoknya tetapi tidak acuh terhadap anggota lain kelompoknya.

F. KOLONI KUDA

Dalam Kelompok Besar dapat ditemukan kelompok kecil yang merumput, beristirahat bersama, tingkat sosialnya sama. Suatu saat terjadi perkelahian tetapi pada saat lain saling tidak acuh. Empat tahap bersosialisasi:

1. Kedua kuda saling mengelilingi dalam jarak tertentu,
2. Saling menciumkan hidung meneliti badan dan ekor masing-masing dengan hidungnya.
3. Bila bisa berteman maka saling memberi gigitan kecil di leher lawannya.
4. Kewaspadaan terhadap hal yang asing:

- Di alam liar , bila ada musuh maka lari atau melawan, tergantung pada keadaan .
- Di Peternakan : lari / menyerang tergantung pada dominasi.
- Perkelahian terjadi pada tingkat sosial yang sama dengan cara menggigit, menendang, mencakar, atau menerkam.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam riset ini menggunakan GA (Genetic Algorithm / Algoritma Genetika) untuk mendapatkan optimasi data perilaku hewan virtual. Urutan pengerjaan metodologi penelitian seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Pengerjaan metodologi penelitian

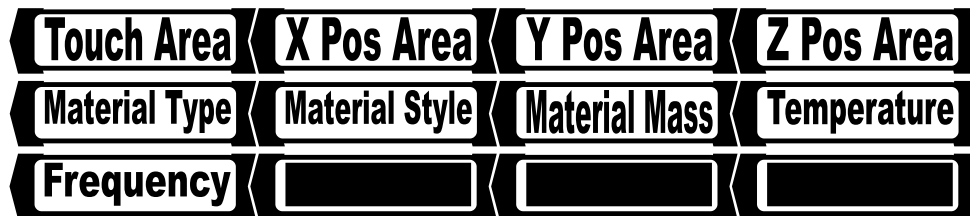
3.1. Desain Genotip (Genotype)

Gnome dari state kromosom ada tiga, yaitu: lingkungan (Gambar 3.2), makhluk (Gambar 3.3) dan kerangka tulang (Gambar 3.4).

a) Indikator eksternal (lingkungan / Enviroment) :

- i. Touch Area = -1 .. 0 .. +1 (Pull 100%, Nothing 0%, Push 100%)
- ii. X Pos Area = -1 .. 0 .. +1 (Left 100%, Simetris 0%, Right 100%)
- iii. Y Pos Area = -1 .. 0 .. +1 (Front 100%, Center 0%, Rear 100%)
- iv. Z Pos Area = -1 .. 0 .. +1 (Below 100%, Middle 0%, Above 100%)
- v. Material Type = -1 .. 0 .. +1 (Poison 100%, Neutral 0%, Food 100%)

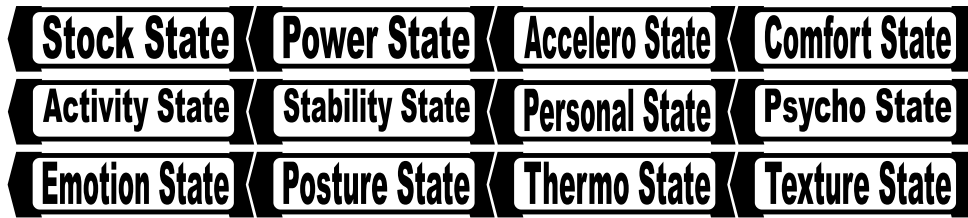
- vi. Material Style = -1 .. 0 .. +1 (Solid 0-100%, Liquid 0-100%, Gas 0-100%)
- vii. Material Mass = -1 .. 0 .. +1 (Light -100%, Average 0%, Weight 100%)
- viii. Temperature = -1 .. 0 .. +1 (Cool 100%, Normal 0%, Hot 100%)
- ix. Frequency = -1 .. 0 .. +1 (Never -100%, Ordinary 0%, Often 100%)



Gambar 3.2. Gen-gen indicator eksternal (lingkungan / environment)

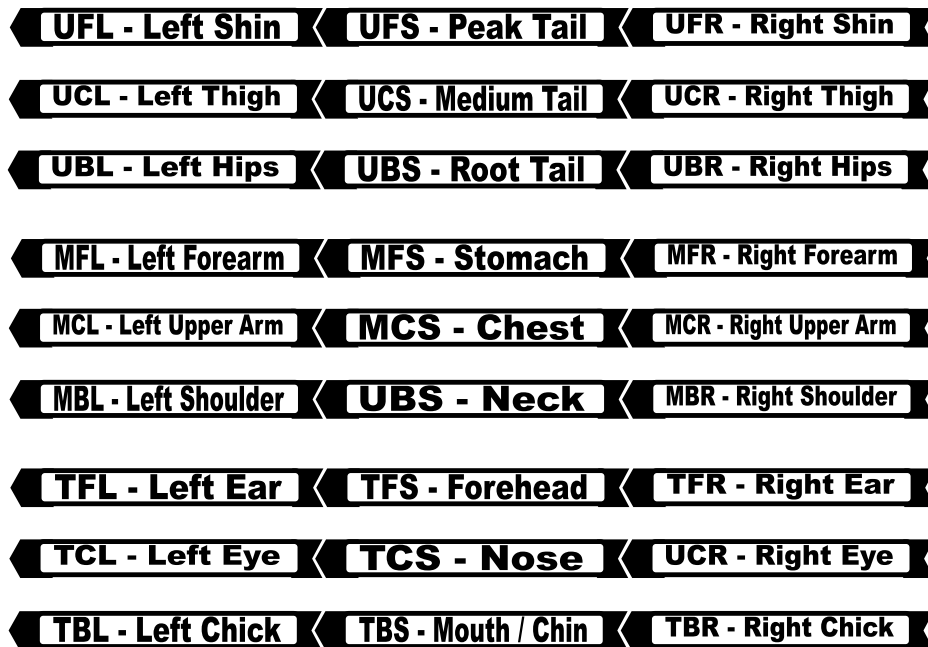
b) Indikator internal (mahkluk / creature) :

- i. Stock State = -1 .. 0 .. +1 (Empty 100%, Normal, Full 100%)
- ii. Power State = -1 .. 0 .. +1 (Weak 100%, Normal, Strong 100%)
- iii. Acceleration State = -1 .. 0 .. +1 (Slow 100%, Normal, Fast 100%)
- iv. Comfort State = -1 .. 0 .. +1 (Tired 100%, Normal, Fit 100%)
- v. Activity Type = -1 .. 0 .. +1 (Passive 100%, Normal, Active 100%)
- vi. Stability Type = -1 .. 0 .. +1 (Unstable 100%, Normal, Stable 100%)
- vii. Personal State = -1 .. 0 .. +1 (Coward 100%, Normal, Intrepid 100%)
- viii. Psycho State = -1 .. 0 .. +1 (Hibernate 100%, Normal, Saturation 100%)
- ix. Emotion Type = -1 .. 0 .. +1 (Sad 100%, Normal, Happy 100%)
- x. Posture Type = -1 .. 0 .. +1 (Thin 100%, Normal, Thick 100%)
- xi. Thermo State = -1 .. 0 .. +1 (Cold 100%, Normal, Hot 100%)
- xii. Texture State = -1 .. 0 .. +1 (Negative 100%, GreyScale, Positive 100%)
 - 1 .. 0 .. +1 (Cyan 100%, Grey, Red 100%)
 - 3 .. 0 .. +3 (Magenta 100%, Grey, Green 100%)
 - 9 .. 0 .. +9 (Yellow 100%, Grey, Blue 100%)
 - 13..0..+13 (Black 100%, Grey, White 100%)



Gambar 3.3. Gen-gen indicator internal (mahkluk / creature)

a) Indikator transformasi (kerangka / armature):



Gambar 3.4. Gen-gen indikator transformasi (kerangka / armature)

Penamaan kerangka tulang / armature :

- Under/Bottom ($z = -1$)
 - BS(- + 0), CS(- 0 0) & FS(- - 0): root, medium & peak of tail.
 - BL(- + -) & BR(- + +) : left & right hips.
 - CL(- 0 -) & CR(- 0 +) : left & right thigh.
 - FL(- - -) & FR(- - +) : left & right shin.
- Middle ($z = 0$)
 - BS(0 + 0), BL(0 + -) & BR(0 + +) : neck, left shoulder & right shoulder.

- CS(0 0 0), CL(0 0 -) & CR(0 0 +) : chest, left upper arm & right upper arm.
- FS(0 - 0), FL(0 - -) & FR(0 - +) : stomach, left forearm & right forearm.
- Top (z = +1)
 - BS(+ + 0), BL(+ + -) & BR(+ + +) : mouth/chin, left chick & right chick.
 - CS(+ 0 0), CL(+ 0 -) & CR(+ 0 +) : nose, left eye & right eye.
 - FS(+ - 0), FL(+ - -) & FR(+ - +) : forehead, left ear/horn & right ear/horn.

Kerangka tulang / armature menggunakan 27 gen untuk mengendalikan objek (Gambar 3.4) dan pemetaan (Tabel 3.1). Sedangkan untuk transformasi tulang seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Peta Kerangka Tulang / Armature

z = -9	x= -1	x= 0	x= +1	x= #	z = 0	x= -1	x= 0	x= +1	x= #
y= -3	UFL	UFS	UFR	UF#	y= -3	MFL	MFS	MFR	MF#
y= 0	UCL	UCS	UCR	UC#	y= 0	MCL	MCS	MCR	MC#
y= +3	UBL	UBS	UBR	UB#	y= +3	MBL	MBS	MBR	MB#
y= #	U#L	U#S	U#R	U##	y= #	M#L	M#S	M#R	M##

z = +9	x= -1	x= 0	x= +1	x= #	z = #	x= -1	x= 0	x= +1	x= #
y= -3	TFL	TFS	TFR	TF#	y= -3	#FL	#FS	#FR	#F#
y= 0	TCL	TCS	TCR	TC#	y= 0	#CL	#CS	#CR	#C#
y= +3	TBL	TBS	TBR	TB#	y= +3	#BL	#BS	#BR	#B#
y= #	T#L	T#S	T#R	T##	y= #	##L	##S	##R	###

Deskripsi: T (top), M (middle), U (under/bottom), F (front), B (back), C (center), R (right), S (symmetric) and L (left).

Tabel 3.2. Rotasi dan Skala dari Sendi Tulang.

Head			Neck	Body	Leg		Tail
Left	Midle	right			Left	Right	

$$\bullet \text{Stability} = ((13 + \text{level}) / 26), \text{ range } \{0 \dots 0.5 \dots 1\} \text{ (real)}. \quad (3-7)$$

$$\bullet \text{Personal} = (\text{level} / 13), \text{ range } \{-1 \dots 0 \dots +1\} \text{ (real)}. \quad (3-8)$$

$$\bullet \text{Psycho} = (((13 + \text{level}) / 26) * 100), \text{ range } \{0 \dots 50 \dots 100\} \text{ (kalori)}. \quad (3-9)$$

$$\bullet \text{Emotion} = (((13 + \text{level}) / 26) * 100\%), \text{ range } \{0\% \dots 50\% \dots 100\% \} \text{ (persen)}. \quad (3-10)$$

$$\bullet \text{Posture} = (2 ^ ((13 + \text{level}) / 26)), \text{ range } \{1 \dots 1.5 \dots 2\} \text{ (real)}. \quad (3-11)$$

$$\bullet \text{Thermo} = (1 - (\text{level} / 13) ^ 2), \text{ range } \{0 \dots 1 \dots 0\} \text{ (real)}. \quad (3-12)$$

$$\bullet \text{Texture} = (\text{level} / 13 * 100\%), \text{ range } \{-100\% \dots 0\% \dots +100\% \} \text{ (persen)}. \quad (3-13)$$

Persamaan 3-2 hingga persamaan 3-13 digunakan untuk menghitung Energy, sebagai berikut:

$$\text{Energy} = (\text{Accelero} * (\text{Comfort} * \text{Activity} * \text{Posture} + \text{Stability} * (1 + \text{Personal} * \text{Emotion} * (1 + \text{Texture})) * \text{Psycho}) * \text{Thermo}), \text{ kapasitas energi (kalori)}. \quad (3-14)$$

Persamaan 3-14 digunakan untuk menghitung Portion, sebagai berikut:

$$\text{Portion} = 1 / (1 + 1 / (2 ^ \text{Energy})) \quad (3-15)$$

Persamaan 3-15 digunakan untuk menghitung Delay, sebagai berikut:

$$\text{Delay} = \text{Portion} / \text{Power}, \text{ durasi waktu (detik)}. \quad (3-16)$$

Duration dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Duration} = \text{Stock} / \text{Power}, \text{ total durasi (detik)}. \quad (3-17)$$

3.3. Desain Engine

Langkah demi langkah untuk desain GA.

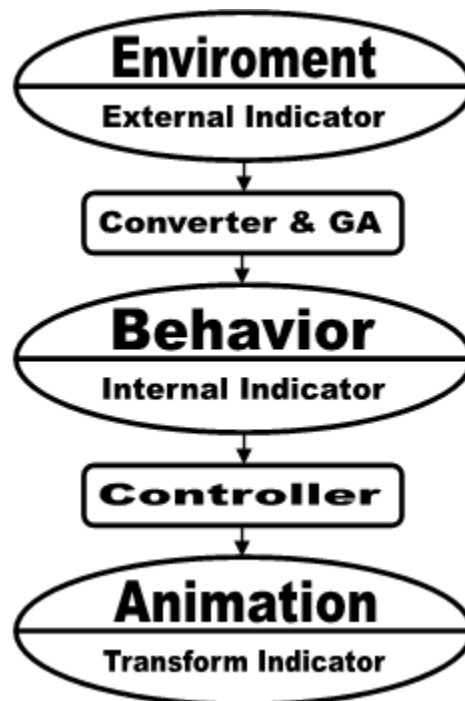
a) Blok Relasi Perilaku Antar Indikator.

Hubungan antar indikator seperti Gambar 3.5. Lingkungan (enviroment) memiliki indikator eksternal (external indikator) seperti pada Gambar 3.2. Indikator eksternal mewakili informasi yang berasal dari luar yang disusun sedemikian rupa agar bisa mempengaruhi gerakan animasi dari model objek. Indikator ini akan diproses melalui konverter kromosom dan optimasi berbasis GA (Genetic Algorithm) sehingga menghasilkan data mendasar berupa perilaku.

Perilaku (behavior) memiliki indikator internal (internal indikator) seperti pada Gambar 3.3. Indikator internal mewakili informasi karakter suatu individu dan membangkitkan data perilaku yang unik pada setiap individunya. Karakter ini masih data mendasar berupa batasan angka aktual, nominal, minimal dan maksimal. Keempat data

mendasar dari perilaku ini diproses dan dikendalikan oleh controller agar menghasilkan animasi visual yang lebih realistik.

Animasi (animation) memiliki indikator transformasi (transform indikator) seperti pada Gambar 3.4. Indikator transformasi mewakili informasi aksi gerakan berupa translasi, rotasi dan skala pada kerangka tulang (armature) seluruh bagian model objek dari hewan. Hasil akhir dari proses ini akan menghasilkan durasi, aksi dan visualisasi perilaku dari hewan.



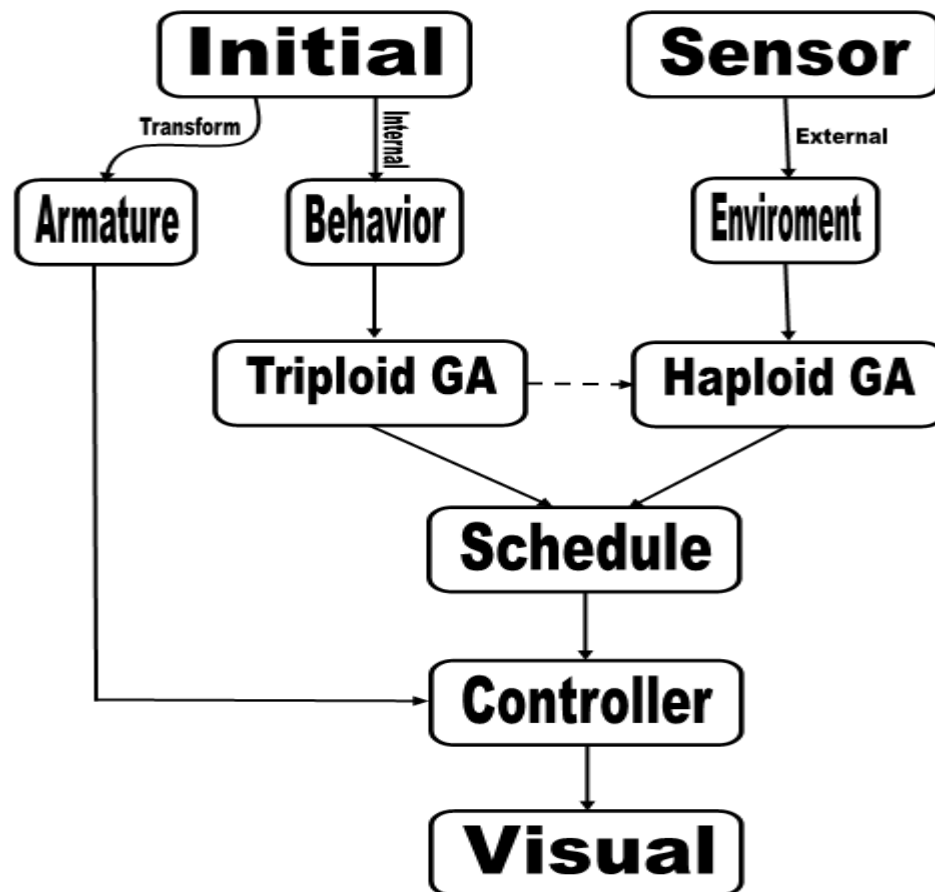
Gambar 3.5 Relasi Perilaku Antar Indikator

b) Blok Dasar Optimasi dari GA Engine.

Dasar optimasi untuk Algoritma Genetika seperti Gambar 3.6. Pertama kali engine GA dijalankan akan menginisialisasi data referensi perilaku sebagai cikal-bakal individu baru. Data inisialisasi ada tiga buah, yaitu: Armature (Kerangka), Behavior (Perilaku) dan Enviroment (Lingkungan). Ketiga data tersebut diproses pada Triploid GA untuk mendapatkan turunan karakter baru yang unik tetapi tetap memiliki sifat dari induk referensinya.

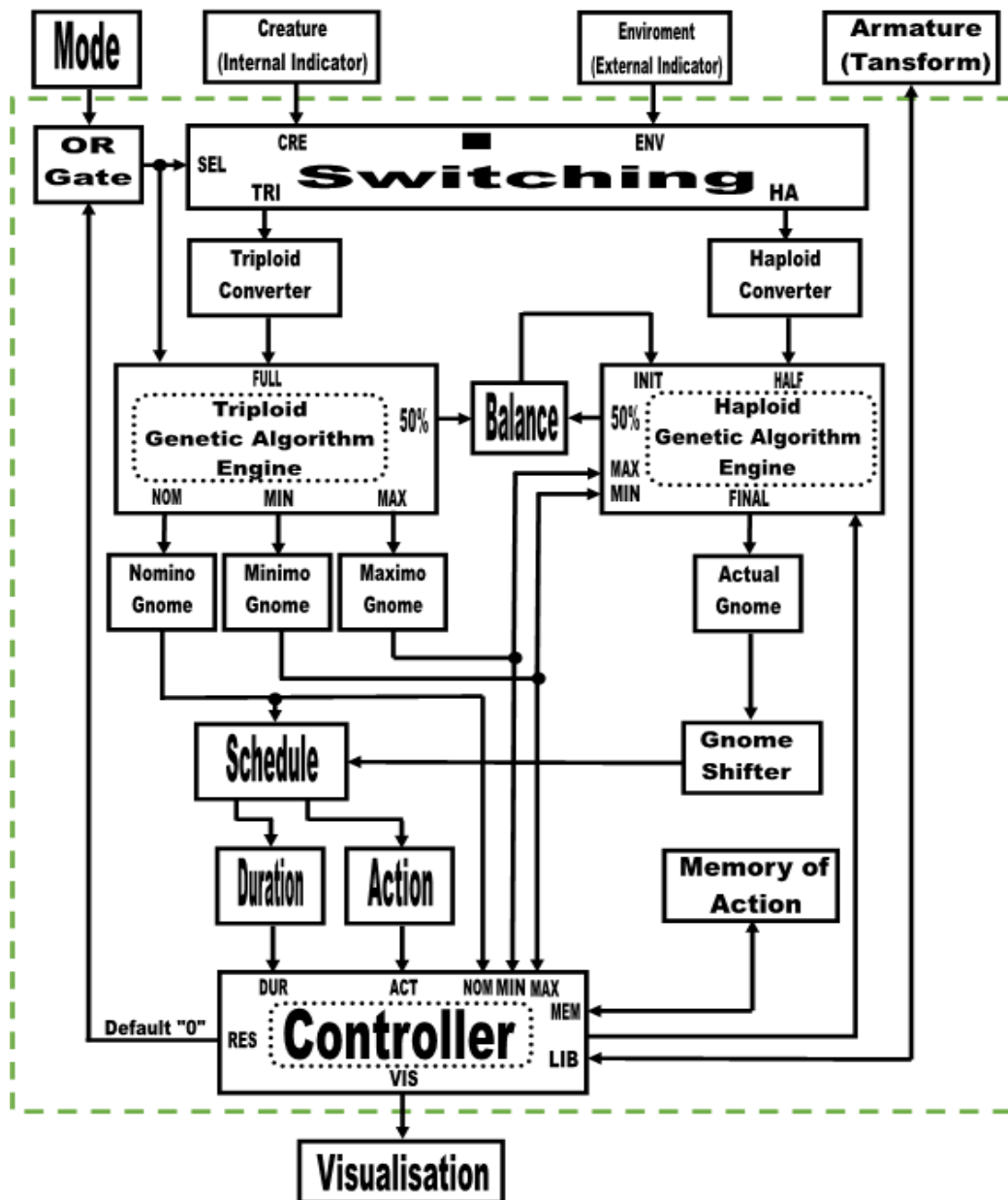
Sensor mendeteksi interaksi luar yang berupa data lingkungan (enviroment) kemudian dikonversi dan diproses pada Haploid GA sehingga menjadi data aktual perilaku (behavior) yang teroptimasi. Sedangkan Schedule (jadwal) bertugas memisahkan data antara waktu durasi dengan aksi gerakan dan selanjutnya diproses pada controller.

Controller bertugas memproses semua data perilaku, mengendalikan prioritas urutan aksi lebih halus dan data perilaku lebih realistik. Hasil akhir keluaran controller berupa transformasi gerakan untuk mendapatkan animasi visual dari hewan virtual.



Gambar 3.6 Blok Dasar Optimasi dari GA Engine

- c) Blok Lengkap Optimasi dari GA Engine.

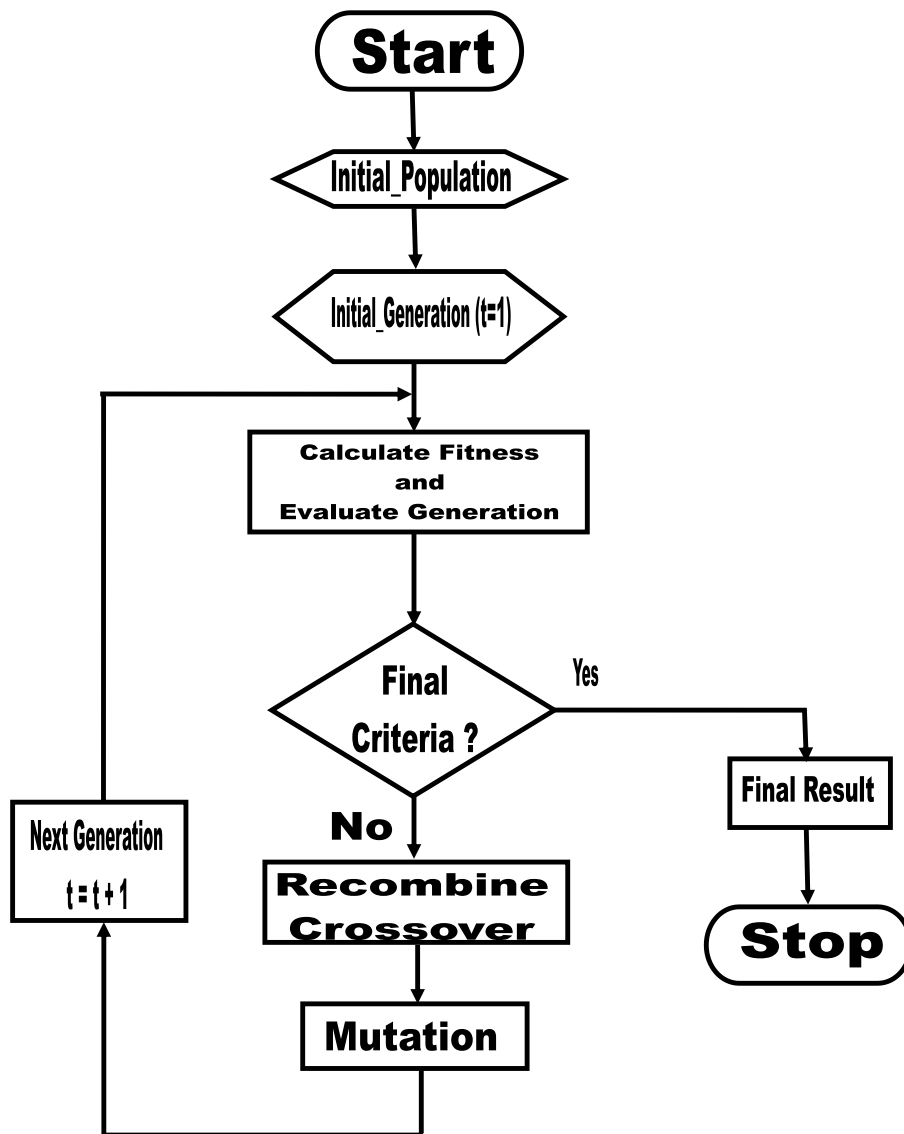


Gambar 3.7. Blok Lengkap Optimasi dari GA Engine

Deskripsi Gambar 3.7 secara detailnya dijelaskan pada sub-sub di bawah ini.

- d) Flowchart Optimasi dari GA Engine.

Pada Gambar 3.8 merupakan flowchart optimasi Algoritma Genetika.



Gambar 3.8. Flowchart untuk GA

e) Blok Indikator, Mode dan Gate.

Lingkungan / Enviroment (External Indicator) : Tempat adaptasi dimana individu dapat bertahan hidup dalam habitat ini dan punya 9 gen (Gambar 3.2). Area ada empat gen dan posisi 3D digunakan untuk lokasi hewan. Tiga gen material digunakan untuk interaksi hewan dengan material. Satu gen temperatur digunakan untuk kondisi dingin atau panas. Satu gen frekwensi digunakan untuk intensitas material yang menerpa setiap periodenya.

Mahkluk / Creature (Internal Indicator) : Ini merupakan karakteristik hewan dengan parameter fisik dan psikologis (Gambar 3.3). Fisik memiliki delapan gen, yaitu: food storage, fitness body, posture type, acceleration, power type, activity type, termometer dan texture color. Psikologikal memiliki empat gen untuk character type, emotion type, psycho style and comfort type.

Kerangka Tulang / Armature (Transform Indicator) : Pergerakan dan aksi dengan rangka tulang (Gambar 3.4). Kerangka tulang merupakan cara terbaik untuk menganimasi model objek 3D.

Mode : sebuah bit berisi dua nilai “0” dan “1”. Apabila bernilai “0” maka sinyal inisialisasi pembangkitan individu baru yang unik siap diproduksi pada blok Engine GA Triploid. Apabila bernilai “1” maka sinyal sensor dari luar akan dikirim ke optimasi blok Engine GA Haploid untuk mendapatkan gnome actual.

Gate OR : sebuah bit berisi dua nilai “0” dan “1”. Apabila Mode bernilai “0” dan Controller Reset bernilai “0” maka blok switching akan mengarahkan semua indikator ke arah blok Engine GA Triploid untuk diproses. Apabila Mode bernilai “1” dan Controller Reset bernilai “1” atau salah satu input Gate OR bernilai “1” maka blok switching akan mengarahkan semua indikator ke arah blok Engine GA Haploid untuk diproses.

f) Blok Switching, Converter dan Balance.

Switching : digunakan untuk mengalihkan inputan indikator ke arah Engine GA Triploid atau ke arah Engine GA Haploid berdasarkan kendali dari blok Gate OR.

Triploid Converter : digunakan untuk mengubah data indikator yang berjenis haploid, diploid maupun polyploid menjadi kromosom triploid.

Haploid Converter : digunakan untuk mengubah data indikator yang berjenis haploid, diploid maupun polyploid menjadi kromosom haploid.

Balance : digunakan untuk menyeimbangkan populasi acuan dengan populasi aktual agar diperoleh hasil masih dalam jangkauan perilaku yang diharapkan.

g) Blok Gnome dan Shifter.

Nomino Gnome : merupakan memori penampung individu unggulan bernilai nominal sebagai acuan dan ciri khas yang unik sebagai perilaku minor.

Minimo Gnome : merupakan memori penampung individu unggulan bernilai minimum sebagai acuan dan ciri khas yang unik sebagai perilaku minor.

Maximo Gnome : merupakan memori penampung individu unggulan bernilai maksimum sebagai acuan dan ciri khas yang unik sebagai perilaku minor.

Actual Gnome : merupakan memori penampung individu unggulan berdasarkan optimasi dan rekombinasi populasi dengan sensor indikator untuk mendapatkan modifikasi gerakan pada perilaku minor yang saat ini terdeteksi.

Gnome Shifter : Merupakan memori penampung kumpulan data gnome aktual sebelum dan sesudah yang ditata sedemikian rupa secara serial untuk mendapatkan perbedaan gerakan sebagai triger.

h) Blok Schedule, Duration, Action dan Memory.

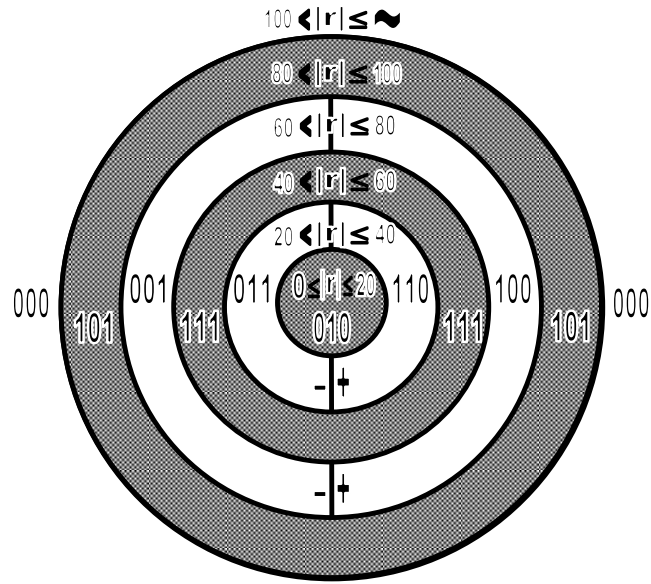
Schedule : merupakan state yang memisahkan urutan waktu dengan aktivitas individu dalam hal ini menghitung lama durasi gerakan dengan jenis gerakan acak dilakukan.

Duration : merupakan lama waktu gerakan dalam satu aktivitas.

Action : merupakan rangkaian gerakan yang dilakukan terdiri dari: (i) sikap awal gerakan, (ii) transisi gerakan berulang, (iii) gerakan berulang dan (iv) sikap akhir gerakan. Sikap awal dan akhir gerakan terdiri-dari (1) tidur terlentang, (2) tidur miring kanan, (3) tidur miring kiri, (4) tidur tengkurap, (5) rebahan terjaga, (6) rebahan miring kanan, (7) rebahan miring kiri, (8) duduk terjaga, (9) duduk miring kanan, (10) duduk miring kiri, (11) siaga seperempat berdiri / merangkak, (12) siaga setengah berdiri / jongkok, (13) tiga per empat berdiri / membungkuk, (14) berdiri dengan semua kaki, (15) berdiri dengan hanya kaki belakang dan (16) berdiri dengan hanya kaki depan. Gerakan terdiri dari (a) berdiam diri, (b) mandiri tunggal, (c) mandiri kanan, (d) mandiri kiri, (e) simetri sepadan kiri-kanan bersamaan, (f) simetri sepadan kiri-kanan tertunda, (g) simetri berkebalikan kiri-kanan bersamaan dan (h) simetri berkebalikan kiri-kanan tertunda. Faktor yang mempengaruhi gerakan adalah tundaan, durasi, kecepatan, torsi dan arah.

Memory of Action : merupakan kumpulan Action yang sudah pernah dilakukan sebagai gerakan instan bila satu saat diperlukan.

Schedule berisi durasi dan urutan aksi dari perilaku (Tabel 3.3). Schedule sintaksis: <duration> <action>.



Gambar 3.9. Hubungan antara State dengan OctoState.

Hubungan antara state dan octostate ditampilkan pada Gambar 3.9.

Formula octostate:

$$r_i = \begin{cases} -100 \times \frac{u_{nom,i} - q_{min,i}}{1 + q_{nom,i} - q_{min,i}}, & u_{nom,i} < q_{nom,i} \\ 0, & u_{nom,i} = q_{nom,i} \\ 100 \times \frac{u_{nom,i} - q_{nom,i}}{1 + q_{max,i} - q_{nom,i}}, & u_{nom,i} > q_{nom,i} \end{cases} \quad (3-18)$$

$$S_i = \begin{cases} 000, & r_i < -100 \parallel 100 < r_i \\ 001, & -80 \leq r_i < -60 \\ 010, & -20 \leq r_i \leq 20 \\ 011, & -40 \leq r_i < -20 \\ 100, & 60 < r_i \leq 80 \\ 101, & -100 \leq r_i < -80 \parallel 80 < r_i \leq 100 \\ 110, & 20 < r_i \leq 40 \\ 111, & -60 \leq r_i < -40 \parallel 40 < r_i \leq 60 \end{cases} \quad (3-19)$$

Deskripsi :

r adalah variabel penampungan perhitungan dari gnome-gnome.

u adalah data dari blok gnome actual.

q adalah data dari blok gnome nomino, minimo dan maximo.

nom adalah indeks data gnome nomino atau gnome actual nomino.

min adalah indeks data gnome minimo.

max adalah indeks data gnome maximo.

s adalah octostate yang berisi dalam nilai logika dari “000” hingga “111”.

i adalah indeks dari duabelas octostate.

Tabel 3.3. Pemetaan Prioritas Prilaku (Behavior Priority)

Priority Number	OctoState Stock	OctoState Power	OctoState Acceleero	OctoState Confort	OctoState Activity	OctoState Stability	OctoState Personal	OctoState Psycho	OctoState Emotion	OctoState Posture	OctoState Therno	OctoState Texture	Output of Action of Behavior
	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	- 0 +	
1.	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	000	Death
2.	111	111	100	100	100	100	110	111	100	111	101	111	Sick
3.	111	111	011	011	011	011	110	011	111	111	011	111	Run
4.	111	111	100	111	011	011	110	011	111	111	111	111	Crawl / Creep
5.	111	111	100	011	011	011	110	011	111	111	111	111	Roll Up
6.	111	111	011	011	011	110	011	001	110	111	011	111	Kick
7.	111	111	010	011	011	011	111	011	111	111	011	111	Jump
8.	111	111	110	011	011	011	011	011	111	111	011	111	Walk
9.	111	111	111	011	111	011	111	011	111	111	111	111	Stand up
10.	111	111	111	111	110	111	111	111	111	111	111	111	Sit / squad
11.	110	111	110	111	110	111	011	011	011	111	010	111	Eat / Drink
12.	111	111	110	111	110	111	011	011	011	111	010	111	Speak
13.	111	111	111	110	010	100	001	001	100	111	001	111	Tail Moving

14.	111	111	111	111	111	011	111	111	111	111	111	111	Looking
15.	111	111	100	110	100	110	010	100	111	111	010	111	Sleep
16.	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	Idle

Deskripsi:

(-) Nilai minimum value dari state, level range $\{-13 \dots -9 \dots -5\}$ atau $\{-100\% \dots -51\%\}$.

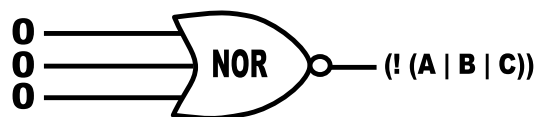
(0) Nilai aktual dari state, level range $\{-4 \dots 0 \dots +4\}$ atau $\{-50\% \dots +50\%\}$.

(+) Nilai maksimum dari state, level range $\{+5 \dots +9 \dots +13\}$ atau $\{+51\% \dots +100\%\}$.

Prioritas tertinggi octostate dari daftar aksi yang terpilih apabila terdapat input dengan total angka nol-nya terbanyak. Sedangkan prioritas terendahnya apabila terdapat input dengan total angka satu-nya terbanyak.

Schedule bertugas memisahkan antara durasi dan aksi sedangkan setiap selektor aksi bertugas pengatur prioritas aksi yang berasal dari 3 logik input dari 12-octostate pada Tabel 3.3.

Selektor aksi berisi input nilai state minimum, aktual dan maksimum seperti Gambar 3.10 hingga Gambar 3.16.



Gambar 3.10. Selektor state gerbang NOR untuk input = 000.

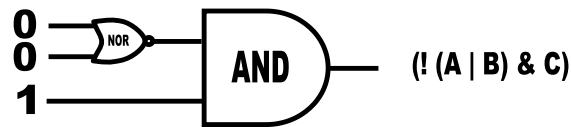
Pada selektor state 3 bit input bernilai 000 diarahkan ke gerbang logika NOR, artinya nilai dari minimal, aktual dan maksimal akan memberikan keluar 1 apabila satu atau dua input di gerbang NOR bernilai 0.

Pseudocode dari gerbang NOR sebagai berikut:

IF *not*(A or B or C) **THEN** output = true **ELSE** output = false.

Pada kondisi output=true akan mengirimkan sinyal setuju ke encoder gerbang AND untuk mengaktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi. Sedangkan pada kondisi

output=false akan mengirimkan sinyal gugur ke encoder gerbang AND untuk menon-aktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi.



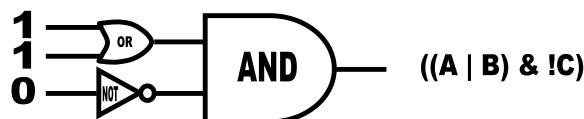
Gambar 3.11. Selektor state gerbang NOR-AND untuk input = 001, 010 dan 100.

Pada selector state 3 bit input bernilai 001, 010 dan 100 diarahkan ke gerbang logika NOR-AND, artinya nilai dari minimal, aktual dan maksimal akan memberikan keluar 1 apabila salah satu input saja yang bernilai 1.

Pseudocode dari gerbang NOR-AND sebagai berikut:

IF not(A or B) and C **THEN** output = true **ELSE** output = false

Pada kondisi output=true akan mengirimkan sinyal setuju ke encoder gerbang AND untuk mengaktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi. Sedangkan pada kondisi output=false akan mengirimkan sinyal gugur ke encoder gerbang AND untuk menon-aktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi.



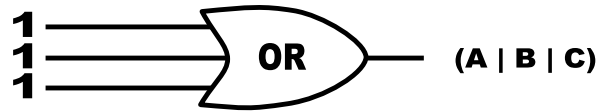
Gambar 3.12. Selektor state gerbang OR-NOT-AND untuk input = 011, 101 and 110.

Pada selector state 3 bit input bernilai 011, 101 dan 110 diarahkan ke gerbang logika OR-NOT-AND, artinya nilai dari minimal, aktual dan maksimal akan memberikan keluar 1 apabila satu atau dua input di gerbang OR bernilai 1.

Pseudocode dari gerbang OR-NOT-AND sebagai berikut:

IF (A or B) and not C **THEN** output = true **ELSE** output = false

Pada kondisi output=true akan mengirimkan sinyal setuju ke encoder gerbang AND untuk mengaktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi. Sedangkan pada kondisi output=false akan mengirimkan sinyal gugur ke encoder gerbang AND untuk menon-aktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi.



Gambar 3.13. Selektor state gerbang OR untuk input = 111.

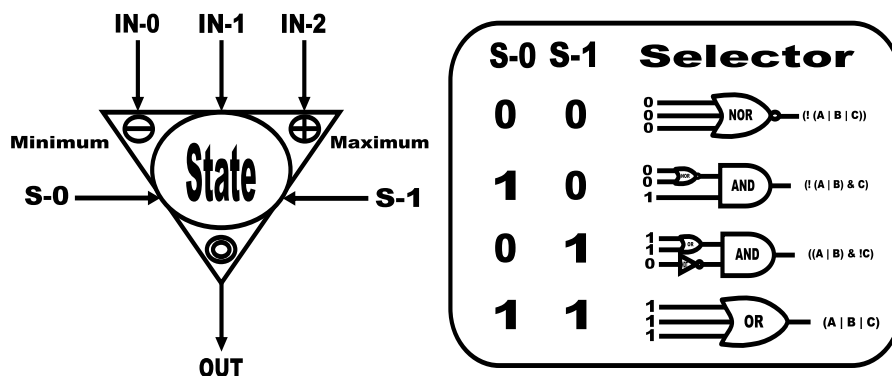
Pada selector state 3 bit input bernilai 111 diarahkan ke gerbang logika OR, artinya nilai dari minimal, aktual dan maksimal akan memberikan keluar 1 apabila salah satu atau semuanya input bernilai 1.

Pseudocode dari gerbang OR sebagai berikut:

IF (A or B or C) **THEN** output = true **ELSE** output = false

Pada kondisi output=true akan mengirimkan sinyal setuju ke encoder gerbang AND untuk mengaktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi. Sedangkan pada kondisi output=false akan mengirimkan sinyal gugur ke encoder gerbang AND untuk menon-aktifkan salah satu nomer prioritas dari daftar aksi.

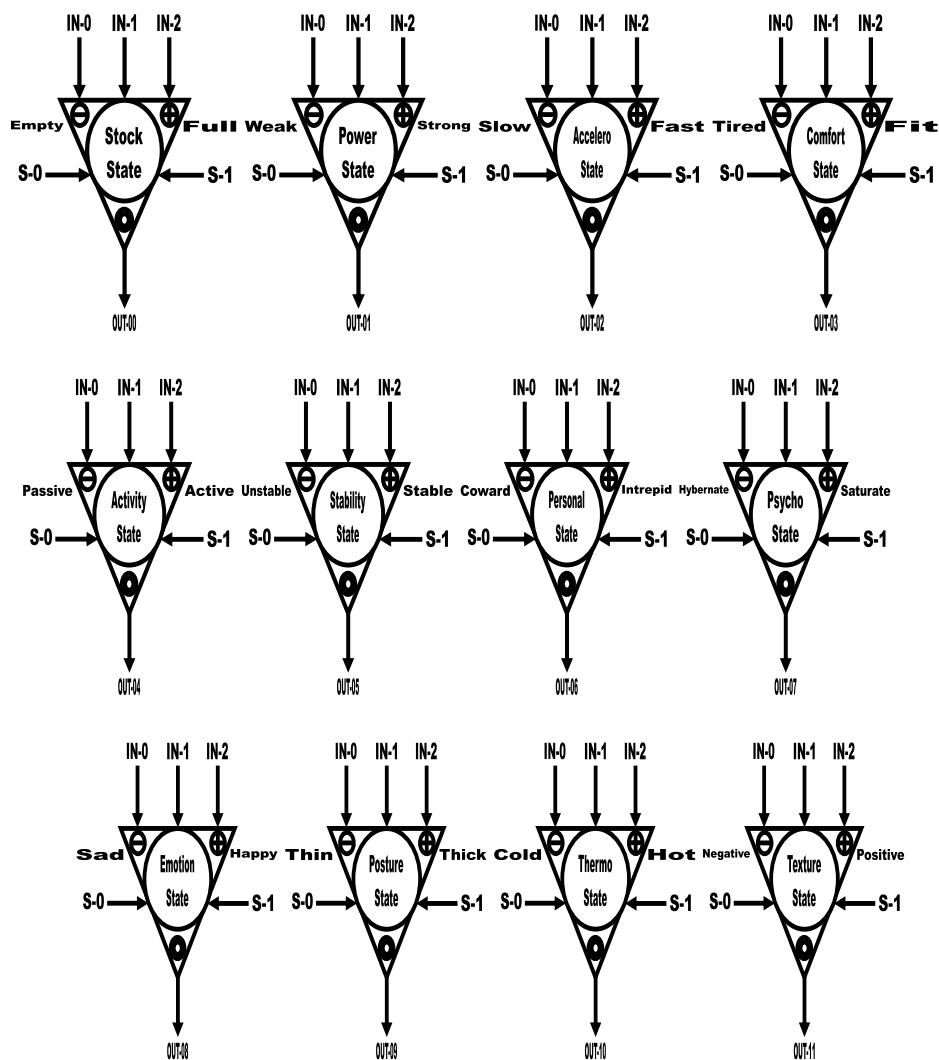
Keempat gerbang tersebut dikumpulkan menjadi satu grup fungsi dengan nama Selektor Octostate. Selektor Octostate memiliki 2 selektor dan 3 input octostate dan blok diagramnya seperti Gambar 3.14.



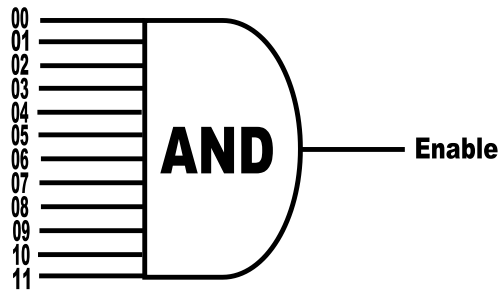
Gambar 3.14. Selektor Octostate

Selektor Octostate akan mengarahkan tiga nilai input octostate ke gerbang logika yang sesuai dengan empat state di atas, yaitu: gerbang NOR, gerbang NOR-AND, gerbang input bernilai satunya kosong, input bernilai satunya ada satu, input nilai satunya ada dua dan input nilai satunya ada tiga. Sehingga selektor berisi 2 bit S1-S0 akan bernilai, yaitu : 00 (input bernilai satunya kosong), 01 (input bernilai satunya ada satu) , 10 (input bernilai satunya ada dua) dan 11 (input bernilai satunya ada tiga). Octostate berfungsi sebagai seleksi awal tiga bit dari gen yang berisi nilai batas antara minimum, aktual dan maksimum untuk mengaktifkan prioritas pada level logika bilangan biner. Sehingga dapat mempercepat proses pemilihan aksi gerakan yang akan dilakukan nanti.

Selektor Octostate dipasang sebanyak 12 buah (Gambar 3.15) sesuai jumlah gen yang ada di kromosom. Output dari keduabelas octostate akan dialirkan ke daftar aksi-aksi dan akan mengijinkan salah satu aksi untuk diaktifkan berdasarkan urutan prioritas tertinggi menuju prioritas terendah (Tabel 3.3). Pada Tabel 3.3 menunjukkan prioritas aksi tertinggi akan dilaksanakan lebih dulu dengan nomer 1. Apabila prioritas nomer 1 tidak terpenuhi maka prioritas nomer 2 akan dilaksanakan. Apabila prioritas nomer 2 tidak terpenuhi maka prioritas nomer 3 akan dilaksanakan. Demikian selanjutnya hingga prioritas terendah akan dilaksanakan apabila semua prioritas di atasnya tidak terpenuhi. Hasil dari penggabungan keduabelas octostate akan dikirimkan ke encoder gerbang AND untuk mengijinkan salah satu aksi dilaksanakan (Gambar 3.16) dari daftar prioritas aksi.



Gambar 3.15. Output 12 octostate mulai dari Output-0 hingga Output-11.



Gambar 3.16. Input 12 octostate untuk mengaktifkan prioritas aksi yang dipilih.

i) Blok Visualization.

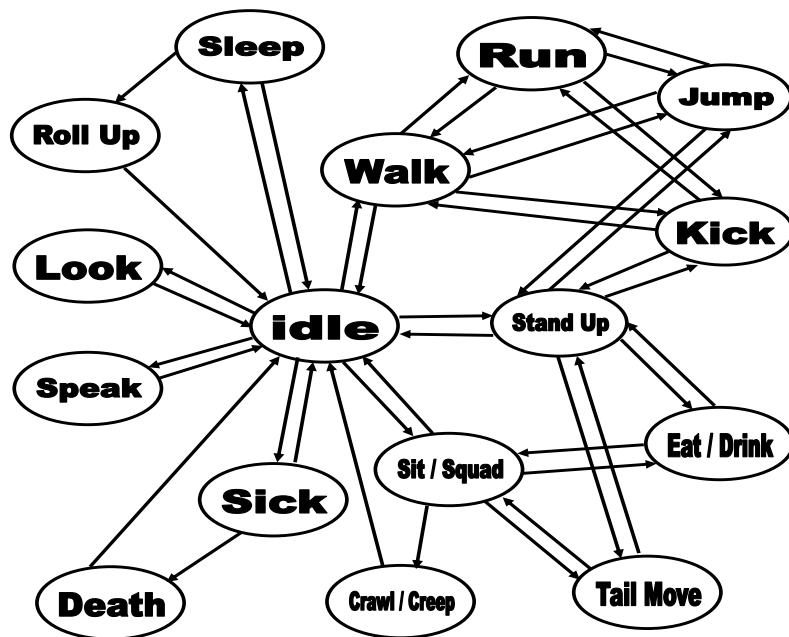
Visualization : Tampilan ekspresi fenotip (phenotype) yang berasal dari controller.

Visualization bertugas menampilkan animasi grafis penunjang model 3D hewan yang disimulasikan.

j) Blok Controller.

Controller: Pemrosesan input data dari schedule dan gnome yang diterjemahkan menjadi fenotip (phenotype) agar dapat disimulasikan secara visual.

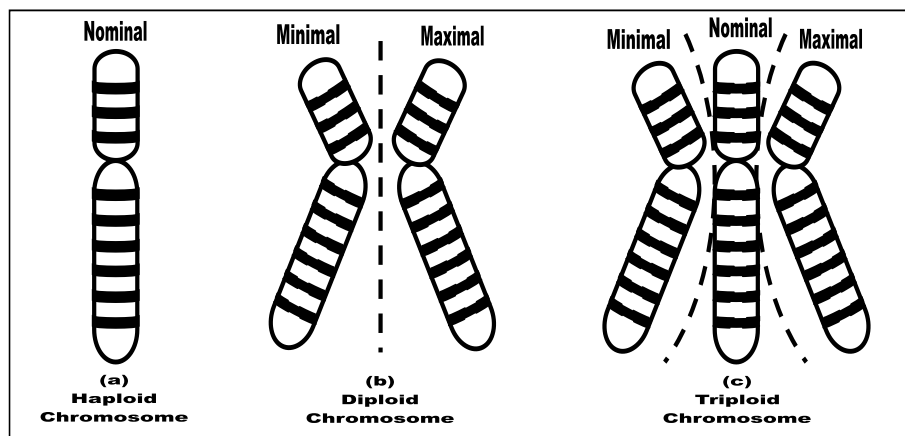
Pengendalian transisi animasi menggunakan FSM (Finite State Machine) pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17. FSM Animasi.

3.4. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi dimulai dengan membangkitkan random populasi dengan state (kromosom) agar didapatkan penyelesaian masalah yang terbaik. Populasi adalah individu yang punya parameter-parameter state. Individu adalah kromosom, sedangkan parameter adalah gen. Normalnya kromosom menggunakan haploid untuk penyelesaian masalah dan diploid untuk natural genetika paralel, sedangkan dalam riset ini menggunakan triploid untuk mendapatkan jangkauan lebar dari variasi individu (Gambar 3.18). kromosom triploid memiliki tiga kromosom haploid yang dipasang secara paralel dimana mereka merupakan nilai kromosom nominal, minimal dan maksimal.. Kromosom nominal memiliki nilai tengah atau standar. Kromosom minimal memiliki nilai terendah atau minimum. Kromosom maksimal memiliki nilai tertinggi atau maksimum. State merupakan sebuah generasi dimana individunya dapat bertahap hidup.



Gambar 3.18. Kromosom

Formula inisialisasi kromosom sebagai berikut:

$$d_{0,j,i} = \text{random}([n], \{b_{\min,i}, b_{\max,i}\})_i, \#i = n \quad (3-20)$$

$$d_{1,j,i} = \text{random}([n], \{b_{\min,i}, b_{\max,i}\})_i, \#i = n \quad (3-21)$$

$$d_{2,j,i} = \text{random}([n], \{b_{\min,i}, b_{\max,i}\})_i, \#i = n \quad (3-22)$$

$$h_{\text{nom},j,i} = \begin{cases} d_{0,j,i}, & d_{1,j,i} \leq d_{0,j,i} \leq d_{2,j,i} \text{ or } d_{1,j,i} \geq d_{0,j,i} \geq d_{2,j,i} \\ d_{1,j,i}, & d_{0,j,i} < d_{1,j,i} < d_{2,j,i} \text{ or } d_{0,j,i} > d_{1,j,i} > d_{2,j,i} \\ d_{2,j,i}, & d_{0,j,i} < d_{2,j,i} < d_{1,j,i} \text{ or } d_{0,j,i} > d_{2,j,i} > d_{1,j,i} \end{cases} \quad (3-23)$$

$$h_{\text{max},j,i} = \begin{cases} d_{0,j,i}, & d_{1,j,i} \leq d_{0,j,i} \text{ and } d_{2,j,i} \leq d_{0,j,i} \\ d_{1,j,i}, & d_{0,j,i} < d_{1,j,i} \text{ and } d_{2,j,i} < d_{1,j,i} \\ d_{2,j,i}, & d_{0,j,i} < d_{2,j,i} \text{ and } d_{1,j,i} < d_{2,j,i} \end{cases} \quad (3-24)$$

$$h_{\text{min},j,i} = \begin{cases} d_{0,j,i}, & d_{1,j,i} \geq d_{0,j,i} \text{ and } d_{2,j,i} \geq d_{0,j,i} \\ d_{1,j,i}, & d_{0,j,i} > d_{1,j,i} \text{ and } d_{2,j,i} > d_{1,j,i} \\ d_{2,j,i}, & d_{0,j,i} > d_{2,j,i} \text{ and } d_{1,j,i} > d_{2,j,i} \end{cases} \quad (3-25)$$

3.5. Enkoding dan Dekoding

Inisial menggunakan 2 bits data dari protein dasar (DNA) untuk enkoding (Tabel 3.4) dan dekoding (Tabel 3.5, Tabel 3.6). Nilai enkoding: 00 (Cytosine), 11 (Guanine), 01 (Thymine) dan 10 (Adenine). Nilai dekoding: cytosine = 0, guanine = -1, thymine = +1, and adenine = #. Artinya satu protein sama dengan satu digit data dan satu digit data memiliki 2 bits. Kodon adalah suatu kombinasi dari tiga protein atau tiga digit. Jadi sebuah gen memiliki satu atau lebih kodon. Setiap Gene memiliki akhir kode tripel adenine atau tripel hash. Jika data modif = ### (tripel adenine) maka kodon harus diubah ke 000 (tripel cytosine) untuk meminimalkan kesalahan akhir kode kodon

Tabel 3.4. Enkoding Kodon

z = 11	x= 11	x= 00	x= 01	x= 10	z = 00	x= 11	x= 00	x= 01	x= 10
y= 11	0	1	2	3	y= 11	16	17	18	19
y= 00	4	5	6	7	y= 00	20	21	22	23
y= 01	8	9	10	11	y= 01	24	25	26	27
y= 10	12	13	14	15	y= 10	28	29	30	31
z = 01	x= 11	x= 00	x= 01	x= 10	z = 10	x= 11	x= 00	x= 01	x= 10
y= 11	32	33	34	35	y= 11	48	49	50	51
y= 00	36	37	38	39	y= 00	52	53	54	55
y= 01	40	41	42	43	y= 01	56	57	58	59
y= 10	44	45	46	47	y= 10	60	61	62	63

Tabel 3.5. Dekoding Kodon Basis Tiga

z = -9	x= -1	x= 0	x= +1	x= #	z = 0	x= -1	x= 0	x= +1	x= #
y= -3	-13	-12	-11	-12x	y= -3	-4	-3	-2	-3x
y= 0	-10	-9	-8	-9x	y= 0	-1	0	+1	0x
y= +3	-7	-6	-5	-6x	y= +3	+2	+3	+4	+3x
y= #	-10y	-9y	-8y	-9yx	y= #	-1y	0y	+1y	0yx
z = +9	x= -1	x= 0	x= +1	x= #	z = #	x= -1	x= 0	x= +1	x= #
y= -3	+5	+6	+7	+6x	y= -3	-4z	-3z	-2z	-3zx

y= 0	+8	+9	+10	+9x		y= 0	-1z	0z	+1z	0zx
y= +3	+11	+12	+13	+12x		y= +3	+2z	+3z	+4z	+3zx
y= #	+8y	+9y	+10y	+9yx		y= #	-1zy	0zy	+1zy	zyx

Tabel 3.6. Dekoding Kodon Bineri Terurutkan

z = 00	x= 00	x= 01	x= 10	x= 11	z = 01	x= 00	x= 01	x= 10	x= 11
y= 00	0	1	2	3	y= 00	-6x	-3x	0x	+3x
y= 01	4	5	6	7	y= 01	+6x	+9x	+12x	-10y
y= 10	8	9	10	11	y= 10	-9y	-8y	-1y	0y
y= 11	12	13	-12x	-9x	y= 11	+1y	+8y	+9y	+10y

z = 10	x= 00	x= 01	x= 10	x= 11	z = 11	x= 00	x= 01	x= 10	x= 11
y= 00	zyx	-1zy	0zy	+1zy	y= 00	+2z	+3z	+4z	-13
y= 01	-3zx	0zx	+3zx	-9yx	y= 01	-12	-11	-10	-9
y= 10	0yx	+9yx	-4z	-3z	y= 10	-8	-7	-6	-5
y= 11	-2z	-1z	0z	+1z	y= 11	-4	-3	-2	-1

Formula konversi ke kromosom triploid sebagai berikut:

Haploid → triploid

$$b_{0,i} = \frac{c_{1,i} - c_{1,i}}{2} = 0 \quad (3-26)$$

$$b_{1,i} = -c_{1,i} \quad (3-27)$$

$$b_{2,i} = c_{1,i} \quad (3-28)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-29)$$

$$b_{max,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \leq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \leq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} < b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} < b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} < b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} < b_{2,i} \end{cases} \quad (3-30)$$

$$b_{min,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \geq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \geq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} > b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} > b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} > b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} > b_{2,i} \end{cases} \quad (3-31)$$

Diploid \rightarrow triploid

$$b_{0,i} = \frac{c_{2,i} + c_{1,i}}{2} \quad (3-32)$$

$$b_{1,i} = c_{1,i} \quad (3-33)$$

$$b_{2,i} = c_{2,i} \quad (3-34)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-35)$$

$$b_{max,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \leq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \leq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} < b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} < b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} < b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} < b_{2,i} \end{cases} \quad (3-36)$$

$$b_{min,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \geq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \geq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} > b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} > b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} > b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} > b_{2,i} \end{cases} \quad (3-37)$$

Polyploid \rightarrow triploid

$$b_{0,i} = \frac{\sum_{j=1}^m c_{j,i}}{m}, \quad \#c_{j,i} = m \quad (3-38)$$

$$b_{1,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & \forall c_{j,i} \geq b_{0,i} \\ \frac{\sum_{k=1}^t c_{k,i}}{t}, & c_{k,i} \in c_{j,i} \text{ and } \#c_{k,i} = t \text{ and } c_{k,i} < b_{0,i} \end{cases} \quad (3-39)$$

$$b_{2,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & \forall c_{j,i} \leq b_{0,i} \\ \frac{\sum_{k=1}^t c_{k,i}}{t}, & c_{k,i} \in c_{j,i} \text{ and } \#c_{k,i} = t \text{ and } c_{k,i} > b_{0,i} \end{cases} \quad (3-40)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-41)$$

$$b_{max,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \leq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \leq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} < b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} < b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} < b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} < b_{2,i} \end{cases} \quad (3-42)$$

$$b_{min,i} = \begin{cases} b_{0,i}, & b_{1,i} \geq b_{0,i} \text{ and } b_{2,i} \geq b_{0,i} \\ b_{1,i}, & b_{0,i} > b_{1,i} \text{ and } b_{2,i} > b_{1,i} \\ b_{2,i}, & b_{0,i} > b_{2,i} \text{ and } b_{1,i} > b_{2,i} \end{cases} \quad (3-43)$$

Formula konversi ke kromosom haploid sebagai berikut:

Haploid \rightarrow haploid

$$b_{0,i} = c_{1,i} \quad (3-44)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-45)$$

Diploid → haploid

$$b_{0,i} = \frac{c_{1,i} + c_{2,i}}{2} \quad (3-46)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-47)$$

Polyploid → haploid

$$b_{0,i} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{j,i}}{n}, \#c_{j,i} = n \quad (3-48)$$

$$b_{nom,i} = b_{0,i} \quad (3-49)$$

Deskripsi,

i : indeks gen

n : total jumlah gen

j : indeks kromosom

m : total jumlah kromosom

k : indeks elemen kromosom

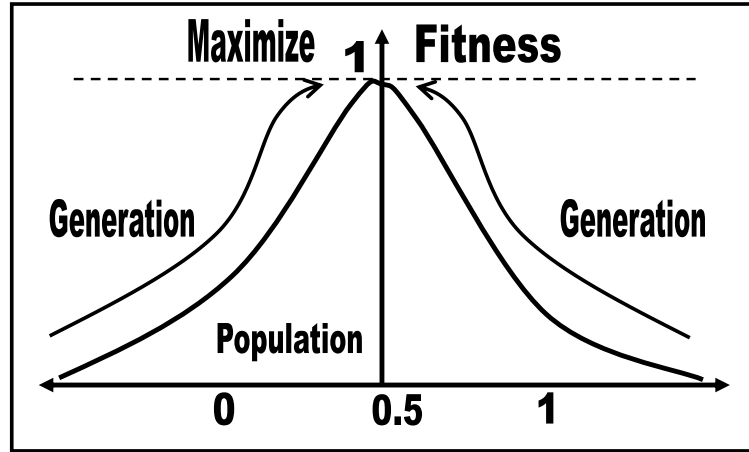
c : kromosom sebagai indikator

b : kromosom blue print

3.6. Fungsi Fitnes

Fungsi fitnes memproduksi generasi mendatang dari kromosom indukan dan mengembalikan kromosom selanjutnya yang bagus sebagai bibit unggul sesuai rumusan yang paling optimal. Sehingga nilai skor terbaik suatu fungsi fitnes dapat menyeleksi indukan baru untuk reproduksi generasi selanjutnya.

Di sini menggunakan rumusan optimasi fungsi fitnes untuk mendapatkan kriteria final, yaitu memiliki skor nilai fitnes maksimum atau optimal seperti yang ditampilkan pada kurva grafis (Gambar 3.19).



Gambar 3.19. Nilai Optimal Kurva dari Fungsi Fitnes

Formula mendapatkan bobot kromosom sebagai pembangkit bibit baru untuk populasi kromosom:

$$w = \begin{cases} 99 \times \left(1 - \left(2 \times \frac{b_{nom} - b_{min}}{b_{max} - b_{min}} - 1\right)^2\right) + 1, & b_{min} \neq b_{max} \\ 1, & b_{min} = b_{max} \end{cases} \quad (3-50)$$

Dengan syarat $b_{min} \leq b_{nom} \leq b_{max}$.

Formula mencari rasio gen-gen tiap kromosomnya :

$$v_j = \begin{cases} \frac{h_{nom,j} - h_{min,j}}{h_{max,j} - h_{min,j}}, & h_{min,j} \neq h_{max,j} \\ 0.00, & h_{min,j} = h_{max,j} \end{cases} \quad (3-51)$$

Dengan syarat $h_{min,j} \leq h_{nom,j} \leq h_{max,j}$

$$\text{dan } b_{min} \leq \{h_{min,j}, h_{nom,j}, h_{max,j}\} \leq b_{max} \quad (3-52)$$

Formula untuk fungsi rata-rata :

$$g(w, v_j) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i v_{j,i}}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3-53)$$

Formula fungsi parabola orde 2:

$$y = \begin{cases} 0, & x = +0.5 \\ 1, & x = 0.0 \\ 0, & x = -0.5 \end{cases}$$

$$y(x) = (1 - 2x) \cdot (1 + 2x)$$

$$\therefore y(x) = 1 - 4x^2 \quad (3-54)$$

Formula eksponensial berbasis 2:

$$z(y) = 2^y$$

$$z(x) = 2^{(1-4x^2)}$$

$$z(x) = 2^1 \cdot 2^{-4x^2}$$

$$z(x) = 2 \cdot f(x)$$

$$f(x) = 2^{-4x^2}$$

$$\therefore f(x) = 2^{-(2x)^2} \quad (3-55)$$

Formula untuk menghitung fungsi prioritas dengan tiga parameter:

$$x = \frac{\theta - \varphi}{\sigma} \quad (3-56)$$

$$f_p(\theta, \varphi, \sigma) = 2^{-\left(2 \cdot \left(\frac{\theta - \varphi}{\sigma}\right)^2\right)}, \quad \sigma \in \mathbb{R} \ \&\& \ \varphi \in \mathbb{R} \quad (3-57)$$

Untuk momen ini, $\theta = g$, $\varphi = 0.5$, $\sigma = 1$

$$f_p(g, 0.5, 1) = 2^{-\left(2 \cdot \left(\frac{g - 0.5}{1}\right)^2\right)}$$

$$f_p(g, 0.5, 1) = 2^{-(2 \cdot (g - 0.5))^2}$$

$$\therefore f_p(g) = 2^{-(2 \cdot (g - 0.5))^2} \quad (3-58)$$

Persamaan 3-16 menghasilkan nilai Duration dan persamaan 3-17 menghasilkan nilai Delay. Kedua persamaan tersebut digunakan untuk menghitung nilai fitness :

$$d = \log(\text{Duration} + \text{Delay}) - 1 \quad (3-59)$$

$$\therefore f_p(g) = 2^{-(2 \cdot d)^2} \quad (3-60)$$

Deskripsi:

f_p : fungsi prioritas
 f : fungsi fitnes
 g : fungsi rata menggunakan bobot
 i : indeks gen dari suatu kromosom
 j : indeks kromosom dalam populasi
 n : jumlah populasi dalam suatu generasi
 h : *gen pada suatu kromosom*
 v : nilai tiap – tiap gen dari suatu kromosom
 b : *blue print* dari kromosom asal
 w : bobot suatu *blue print* dari kromosom asal
 nom : *nominal* dari kromosom *triploid*
 min : *minimal* dari kromosom *triploid*
 max : *maksimal* dari kromosom *triploid*

3.7. Operator Seleksi

Menyeleksi dua pasangan indukan yang memiliki skor nilai fitnes terbaik atau mengacak pengambilan indukan guna mereproduksi generasi selanjutnya.

Formula kriteria skor nilai fitnes pada generasi terbaik sebagai berikut:

- Seleksi induk yang bagus:

$$p_{0,nom} = h_{nom,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$p_{0,max} = h_{max,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$p_{0,min} = h_{min,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$p_{1,nom} = h_{nom,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$p_{1,max} = h_{max,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$p_{1,min} = h_{min,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

- Seleksi keturunan yang bagus:

$$q_{nom} = h_{nom,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$q_{max} = h_{max,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

$$q_{min} = h_{min,j,i}, \quad f(g) \approx 1$$

Deskripsi:

p adalah kromosom induk.

q adalah kromosom hasil seleksi untuk generasi selanjutnya.

h adalah kumpulan populasi gen dalam satu generasi.

nom, min dan max adalah jenis kromosom triploid yang tertata secara paralel.

j adalah indeks individu dalam populasi.

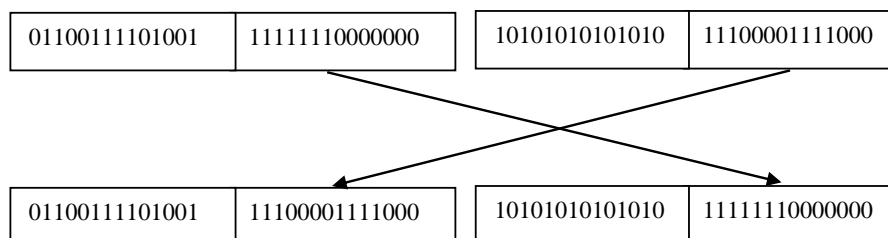
i adalah indeks gen dalam kromosom.

3.8. Operator Persilangan (Crossover):

Masing-masing pasang indukan dikawin-silangkan secara acak antar masing-masing untai data bit kromosom dengan pasangannya untuk mereproduksi generasi selanjutnya. Biasanya populasi awal akan terasa besar tetapi hal ini akan konvergensi pada generasi mendatang. Beberapa jenis persilangan adalah terurut (Gambar 3.20), terbalik (Gambar 3.21) dan random (Gambar 3.22).

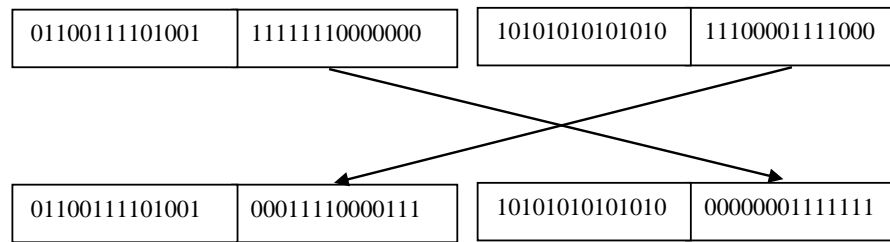
Contoh penggunaan operator persilangan seperti berikut ini:

a) Persilangan terurut



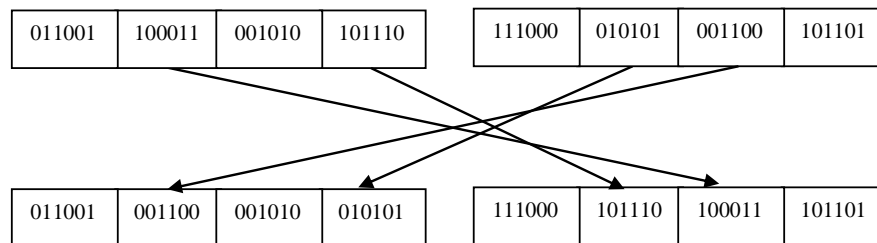
Gambar 3.20. Persilangan terurut

b) Persilangan terbalik



Gambar 3.21. Persilangan terbalik

c) Penyilangan random



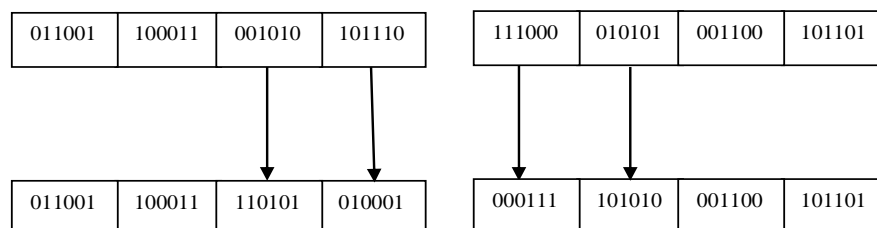
Gambar 3.22. Persilangan random

3.9. Operator Mutasi

Mutasi juga berperan baik pada proses perubahan informasi genetik dalam hal ini mengubah data secara langsung di bagian kromosom. Ada dua model operasi mutasi dalam GA, yaitu: random dan non-random. Sebaiknya menggunakan operasi mutasi non-random untuk menjaga skor nilai fitness tidak terlalu jauh jaraknya. Setiap lokasi untaian data bit kromosom dapat dimutasi dengan sedikit acak. Di sini menggunakan 7 jenis bitwise, yaitu: NOT (Gambar 3.23), OR (Gambar 3.24), AND (Gambar 3.25), XOR (Gambar 3.26), COPY (Gambar 3.27), INSERT (Gambar 3.28) and DELETE (Gambar 3.29).

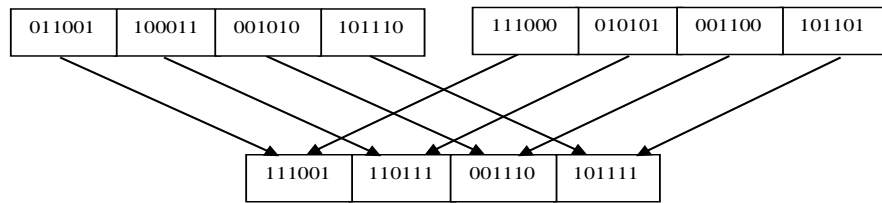
Contoh penggunaan operator persilangan seperti berikut ini:

a) NOT Bitwise



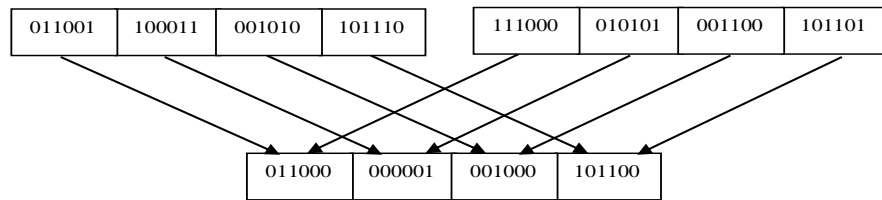
Gambar 3.23. NOT Bitwise

b) OR Bitwise



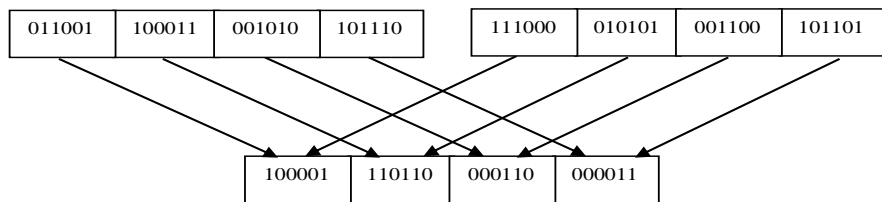
Gambar 3.24. OR Bitwise

c) AND Bitwise



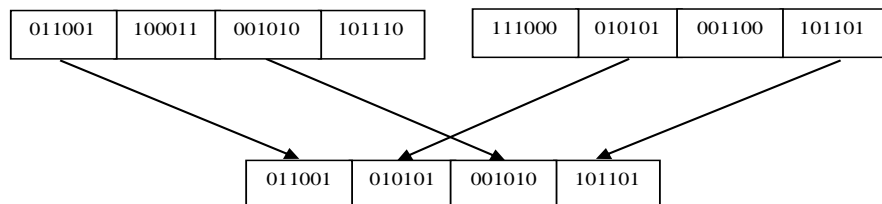
Gambar 3.25. AND Bitwise

d) XOR Bitwise



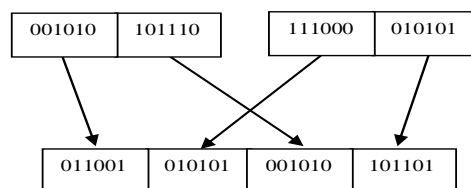
Gambar 3.26. XOR Bitwise

e) Copy Bitwise



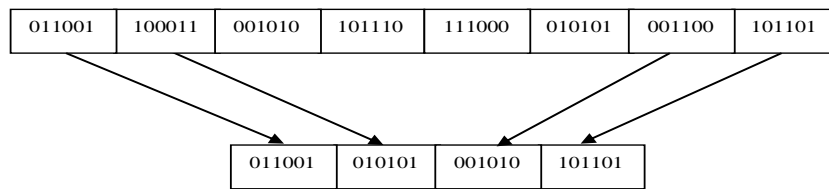
Gambar 3.27. Copy Bitwise

f) Insert Bitwise



Gambar 3.28. Insert Bitwise

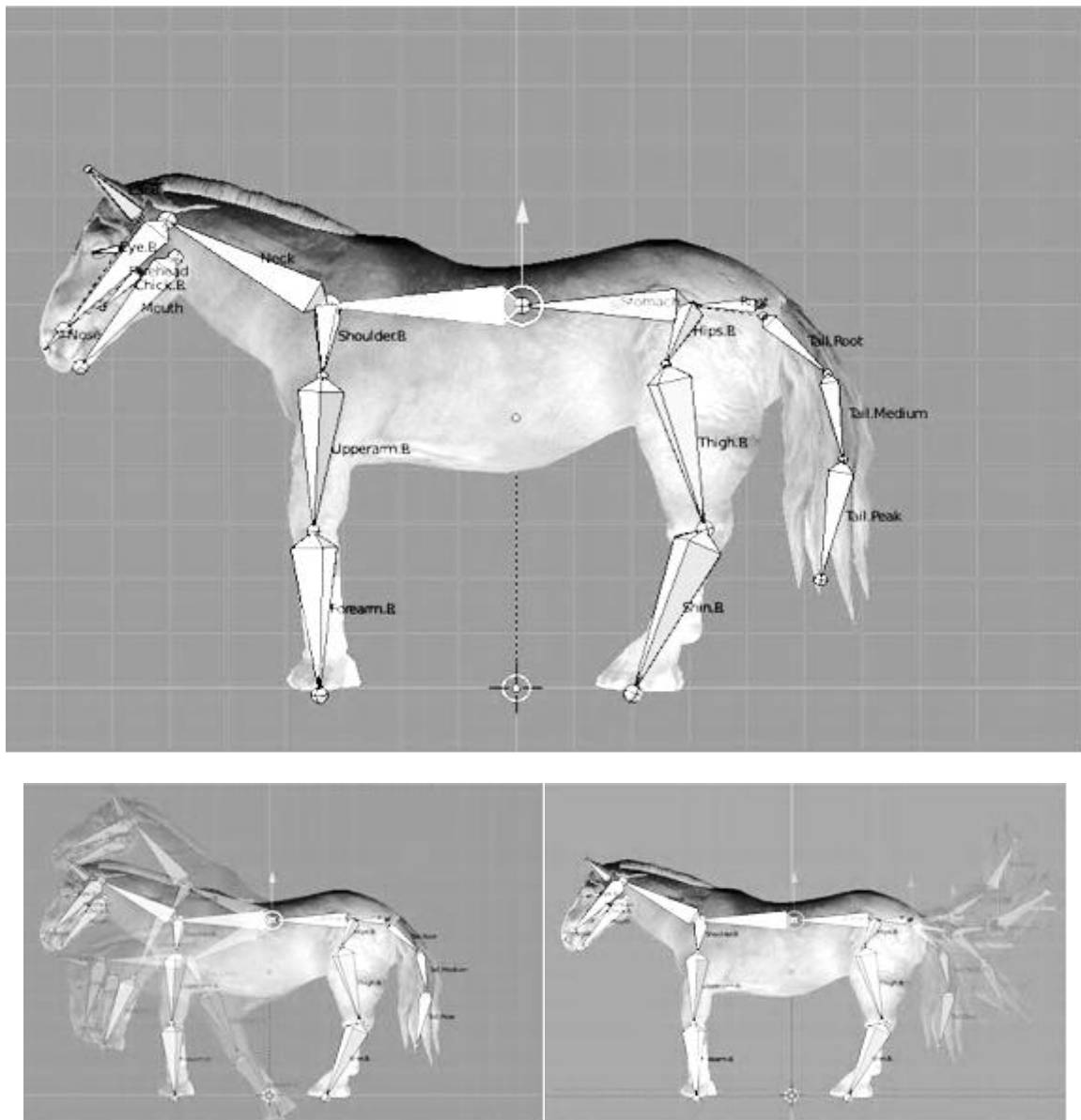
g) Delete Bitwise



Gambar 3.29. Delete Bitwise

3.10. Visualisasi Model 3D

Contoh tampilan aksi menggunakan model 3D seperti Gambar 3.30 lengkap dengan kerangka tulang.



Gambar 3.30. Kuda 3D dengan kerangka / armature

BAB 4

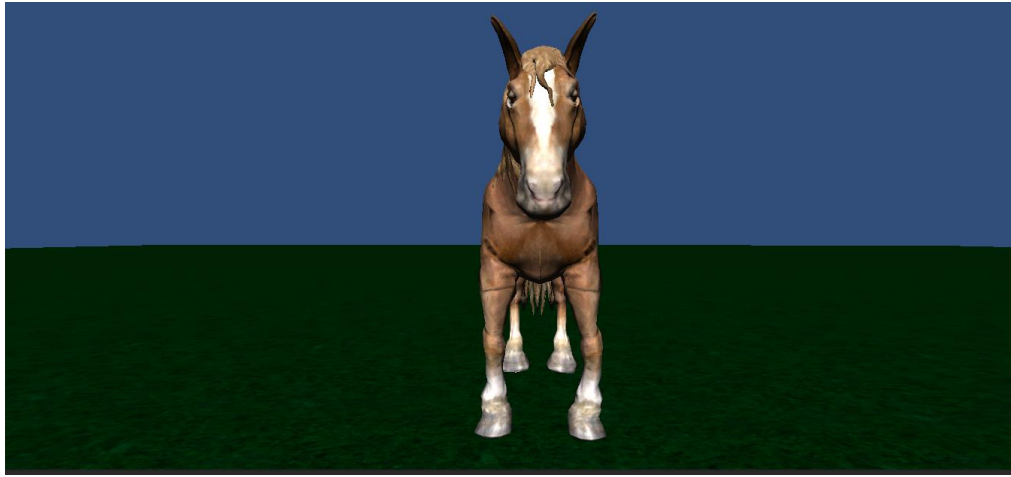
PERCOBAAN DAN SIMULASI KOMPUTER

Perilaku hewan virtual yang telah diuraikan pada Bab 3 diterapkan dalam simulasi komputer dengan visualisasi animasi komputer menggunakan Unity 3D versi 4 dengan menggunakan physic dan rigidbody. NPC (non player character) berupa hewan virtual yaitu kuda. Posisi kuda ditempatkan pada koordinat tiga dimensi (0,0,0) dengan lingkungan tanah berbidang datar. Di atas bidang datar tersebut dipasang beberapa target yang akan mempengaruhi perubahan perilaku kuda virtual. Target-target tersebut berbentuk bola-bola yang memiliki fungsi masing-masing. Bola warna putih berfungsi sebagai penyedia makanan dan menambah stamina agar tetap beraktivitas. Pengaruh bola putih akan menarik hewan virtual mendekat dan memakannya. Bola warna kuning berfungsi sebagai makanan yang beracun dan mengurangi stamina. Bila bola kuning dimakan akan memperlambat aktivitas, sakit dan juga mengalami kematian. Bola warna merah berfungsi sebagai pancaran suhu panas yang melebihi daya tahan tubuh hewan virtual. Dampak dari bola warna merah akan mempengaruhi stamina ketahanan tubuh hewan virtual. Bola warna biru berfungsi sebagai pancaran suhu dingin yang melebihi daya tahan tubuh hewan virtual. Dampak dari bola warna biru akan mempengaruhi stamina ketahanan tubuh hewan virtual. Simulasi ini melibatkan 1 hewan virtual, 4 target diam di koordinat acak, dan lingkungan tiga dimensi. Limit perubahan perilaku dalam waktu sekitar satu menit., artinya jika lebih dari sepuluh detik maka proses perubahan perilaku akan dibangkitkan lagi dengan membaca sensor eksternal kemudian dikonversi ke data internal untuk mendapatkan perilaku pergerakan yang baru. Hewan virtual akan memilih aksi baru sebanyak 100 iterasi.

4.1. Perilaku hewan virtual tanpa target

A. Skenario

Skenario pertama adalah melakukan percobaan tanpa target untuk menguji perilaku hewan virtual (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2). Perilaku dibangkit berdasarkan masukan dari sensor eksternal yang diproses secara periodik pada GA Engine. Hasil proses dari GA Engine akan menghasilkan kromosom aktual. Kemudian kromosom aktual dibandingkan dengan kromosom nominal, kromosom minimum dan kromosom maksimum untuk mendapatkan dua data, yaitu: aksi dan durasi. Pada saat sensor eksternal tidak memperoleh data maka angka nilai yang didapatkan adalah nilai setimbang dijangkau angka nol. Titik setimbang akan mengarahkan aksi pada prioritas terendah dari tabel prioritas aksi, dalam hal ini aksi yang sering dilakukan adalah idle (Gambar 4.3) dan sesekali melakukan aktivitas lain di prioritas lebih tinggi lainnya. Pada pemilihan aksi idle ini, hewan virtual melakukan penghematan energi. Sehingga cadangan makanan sebagai energi tidak terlalu banyak dikuras.



Gambar 4.1. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak depan.



Gambar 4.2. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak samping.

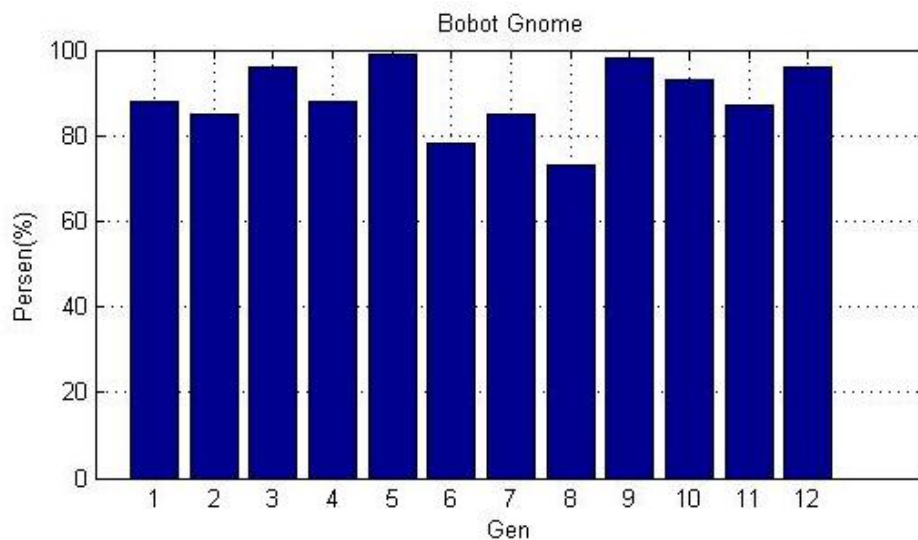
Dengan meminimalkan aksi, pada hakekatnya dapat mereduksi pengeluaran kalori pada gen bernama storage. Sedangkan gen power merupakan laju pemakaian kalori per detik. Pemakaian energi dapat dihitung dari 10 gen yang tersisa dari 12 gen perilaku internal. Durasi aksi dapat diperoleh dengan membagi energi dengan laju tenaga (gen power). Aksi dapat diulang berkali-kali sebanyak kalori yang tersimpan dalam gen storage belum habis. Bila kalori sudah mendekati mau habis maka hewan virtual akan melakukan aksi darurat, yaitu: makan bila didekatnya ada makanan, berjalan bila di dekatnya pada radius tertentu ada makanan dan berlari bila radius lebih jauh lagi ada makanan.



Gambar 4.3. Kuda virtual 3D dalam posisi awal tampak atas dengan aksi berstatus idle.

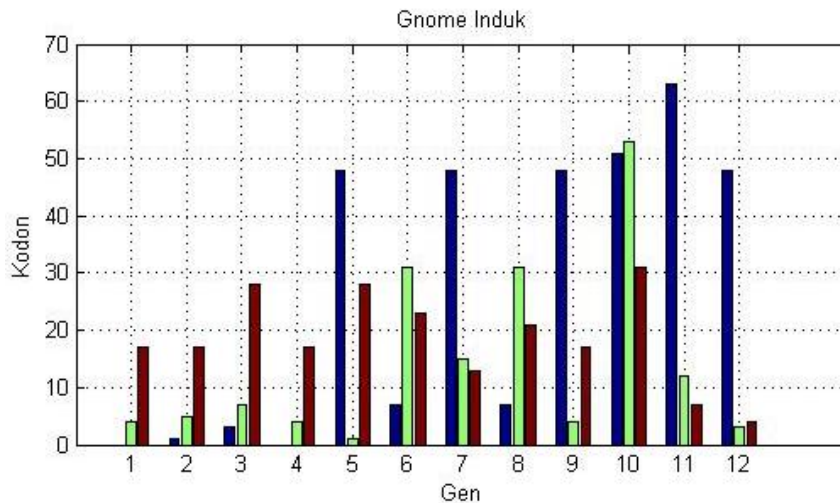
B. Hasil

Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.4, nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 73 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-8, sedangkan indeks gen lainnya di atas 78 hingga 100.



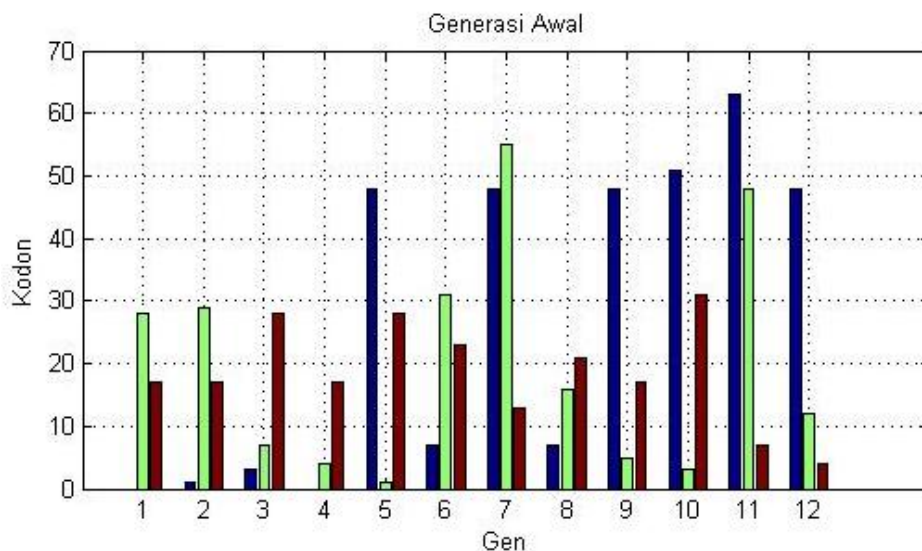
Gambar 4.4. Bobot Gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.5), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



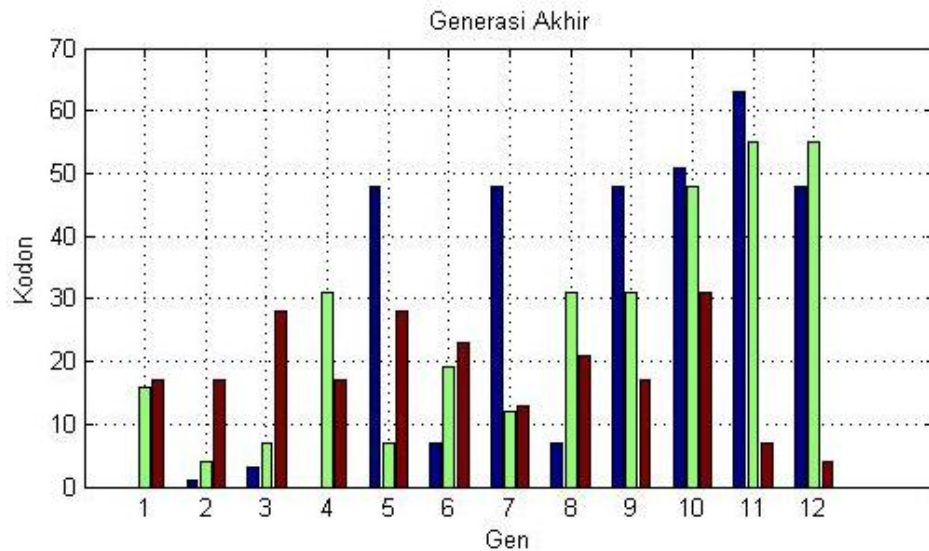
Gambar 4.5. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.6), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



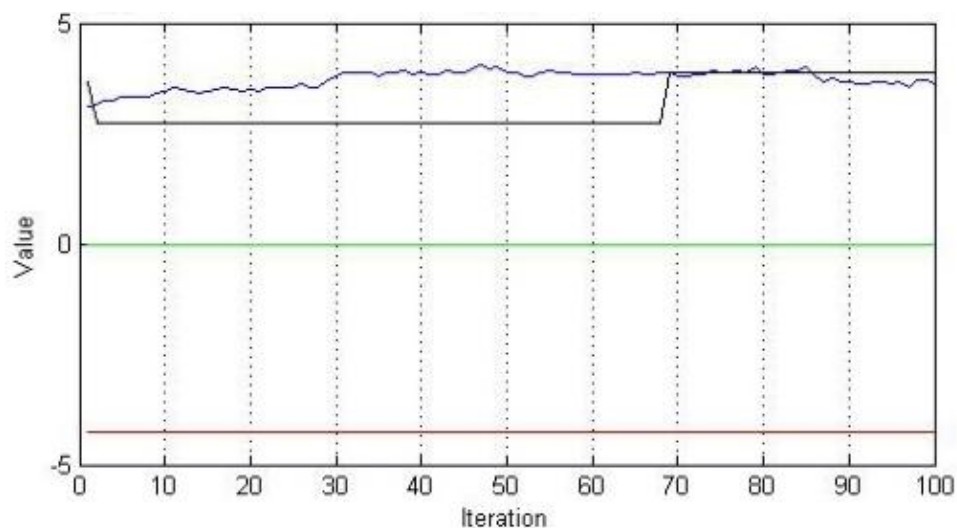
Gambar 4.6. Generasi Pertama

Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.7), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



Gambar 4.7. Generasi Terakhir

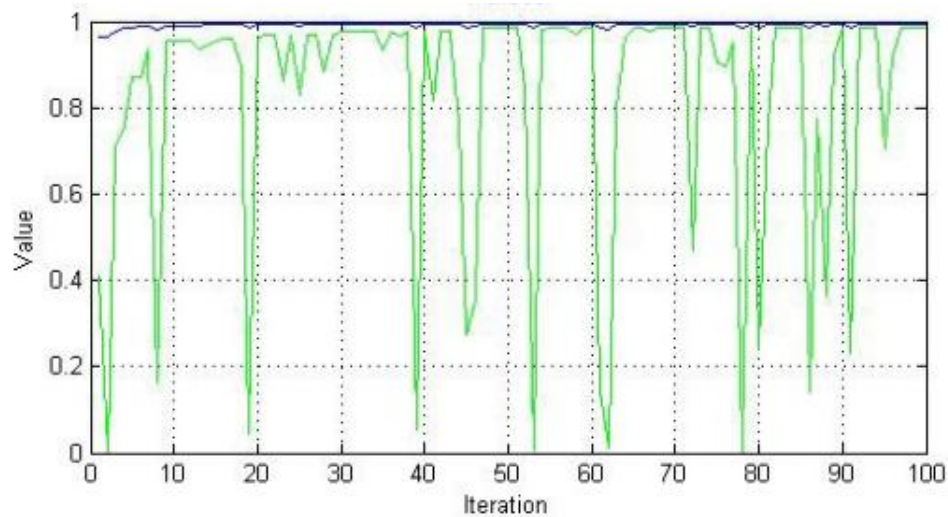
Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.8) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan indikator aksi yang dilakukan, garis hijau menunjukkan indikator inisialisasi agen, garis biru menunjukkan indikator prioritas rata-rata dan garis merah menunjukkan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam dan tidak mendekati garis merah melainkan bergerak di sekitar garis biru. Rentang perubahan aksi diantara nilai 3.00 hingga 3.92.



Gambar 4.8. Prioritas Pemilihan Aksi

Nilai fungsi fitnes hasil percobaan ini (Gambar 4.9) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitnes dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitnes dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitnes dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitnes dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai mendekati skala 1 dari grafik demikian juga garis hitam dan merah. Sedangkan garis hijau

walau bergerak naik turun akan tetapi tetap mendekati skala 1 juga dari grafik. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak menggunakan aksi berstatus idle.



Gambar 4.9. Fungsi Fitnes

4.2. Perilaku hewan virtual dengan target makanan

A. Skenario

Skenario kedua dilakukan percobaan untuk menguji kemampuan hewan virtual untuk berinteraksi dengan makanan (Gambar 4.10). Makanan di sini bertindak sebagai penambah stamina untuk melakukan aktivitas. Disamping itu sebagai energi cadangan dan menentukan gerakan. Saat hewan virtual merespon makanan maka hewan virtual tersebut bertindak benar melakukan aksinya.



Gambar 4.10. Kuda virtual 3D pada posisi awal dengan penambahan bola putih sebagai makanan.

Pada posisi awal, kuda virtual 3D ditempatkan sedemikian rupa sehingga bola-bola putih dapat dijangkaunya. Kuda virtual akan merespon bola-bola putih tersebut dengan

mendekatinya. Jarak terdekat dengan kuda virtual akan dihampiri dahulu (Gambar 4.11), Sedangkan bola putih berjarak lebih jauh akan diabaikan dulu



Gambar 4.11. Kuda virtual 3D mendekati bola putih yang berjarak lebih dekat.

Kuda virtual mulai mendekati bola putih terdekat lalu memakannya (Gambar 4.12). Setelah makanan bola putih habis maka kuda virtual mulai mencari bola putih selanjutnya (Gambar 4.13).



Gambar 4.12. Kuda virtual 3D memakan bola putih yang terdekat.



Gambar 4.13. Kuda virtual 3D mendekati bola putih selanjutnya.

Pada Gambar 4.14, kuda virtual berjalan mendekati bola putih selanjutnya lalu memakannya. Setelah selesai memakan semua bola-bola putih maka kuda virtual mulai melakukan aktivitas lain secara acak dan yang terakhir aksi idle (Gambar 4.15).



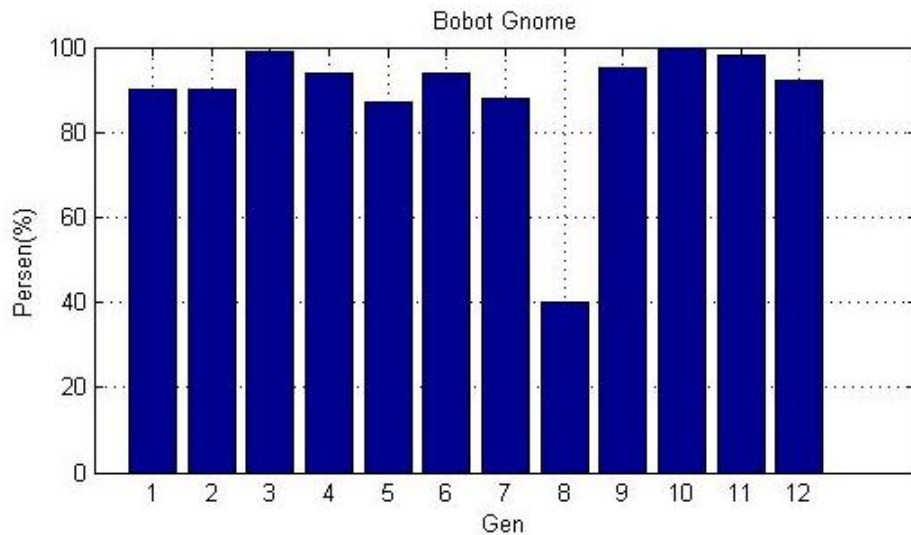
Gambar 4.14. Kuda virtual 3D memakan bola putih selanjutnya.



Gambar 4.15. Kuda virtual 3D melakukan aksi idle setelah makan bola putih.

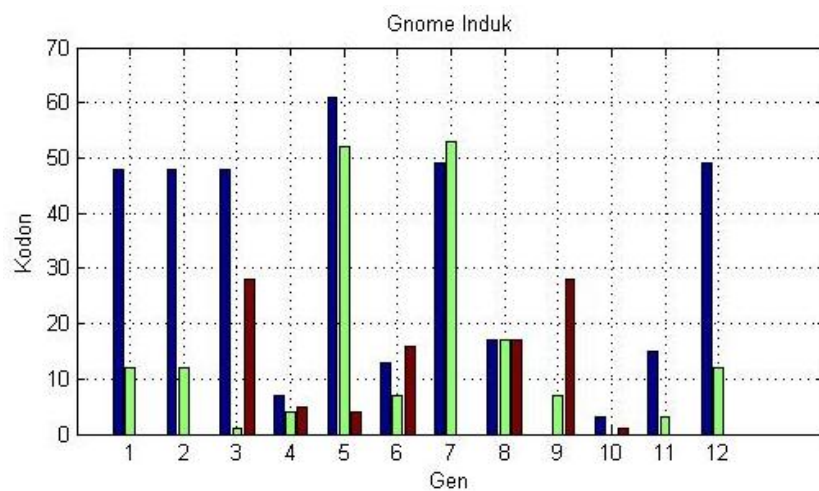
B. Hasil

Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.16 nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 40 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-8, sedangkan indeks gen lainnya di atas 87 hingga 100.



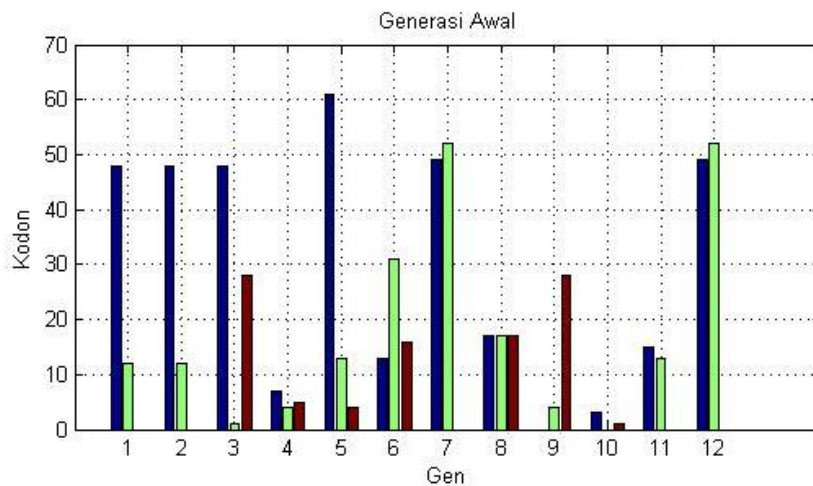
Gambar 4.16. Bobot gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.17), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



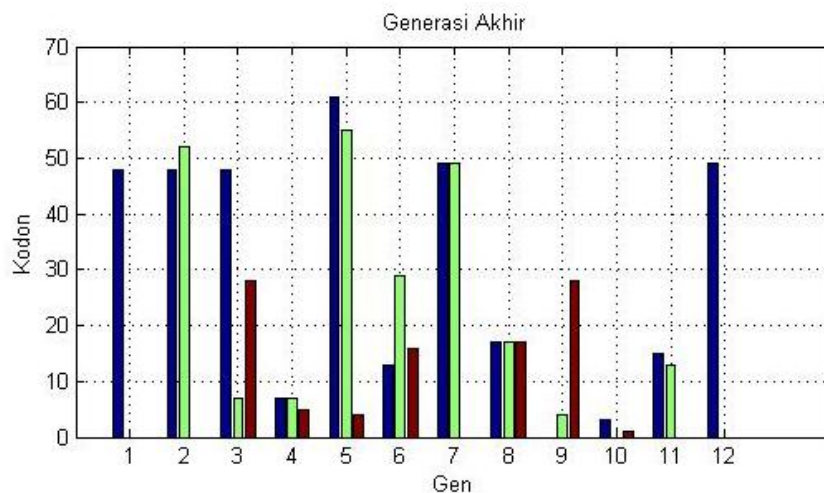
Gambar 4.17. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.18), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



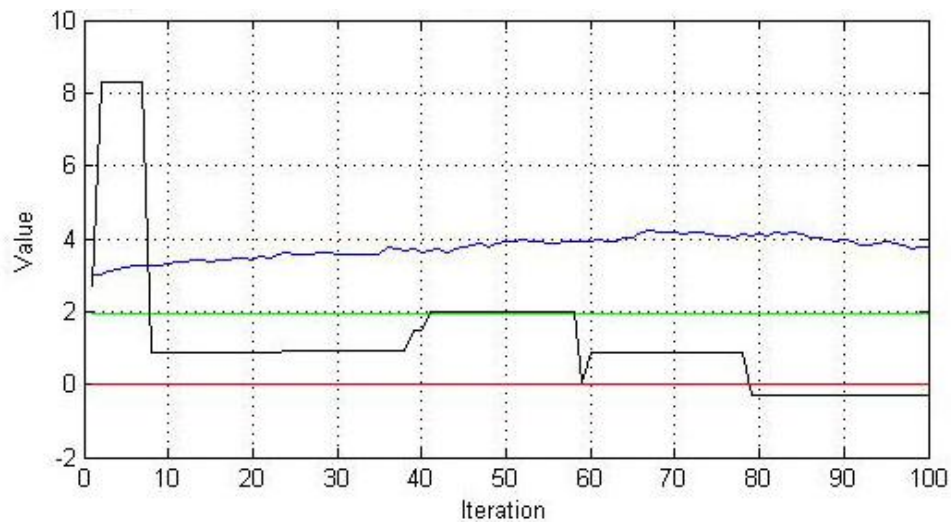
Gambar 4.18. Generasi pertama

Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.19), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



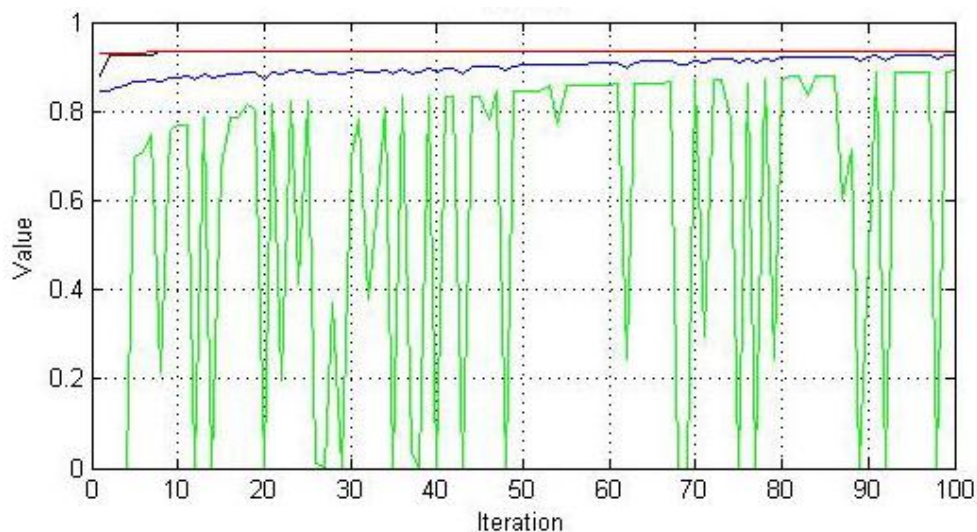
Gambar 4.19. Generasi terakhir

Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.20) terdiri dari empat garis indicator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukan indikator aksi yang dilakukan, garis hijau menunjukan indikator inisialisasi dari agen, garis biru menunjukan indikator prioritas rata-rata dari populasi dan garis merah menunjukan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam. Rentang perubahan aksi diantara nilai -0.27 hingga 8.13 menuju ke garis merah. Artinya agen tertarik mendekati target.



Gambar 4.20. Prioritas pemilihan aksi

Nilai fungsi fitness hasil percobaan ini (Gambar 4.21) terdiri dari empat garis indicator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitness dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitness dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitness dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitness dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai mendekati skala 0.91 dari grafik demikian juga garis hitam dan merah. Sedangkan garis hijau walau bergerak naik turun akan tetapi tetap mendekati skala 0.91 juga dari grafik. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak menggunakan aksi berstatus walk dan idle.



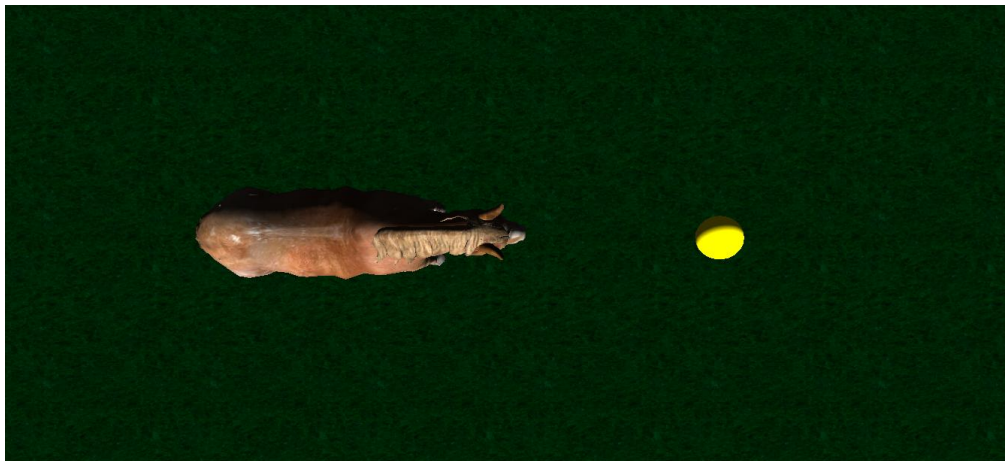
Gambar 4.21. Fungsi fitness

4.3. Perilaku hewan virtual dengan makanan beracun

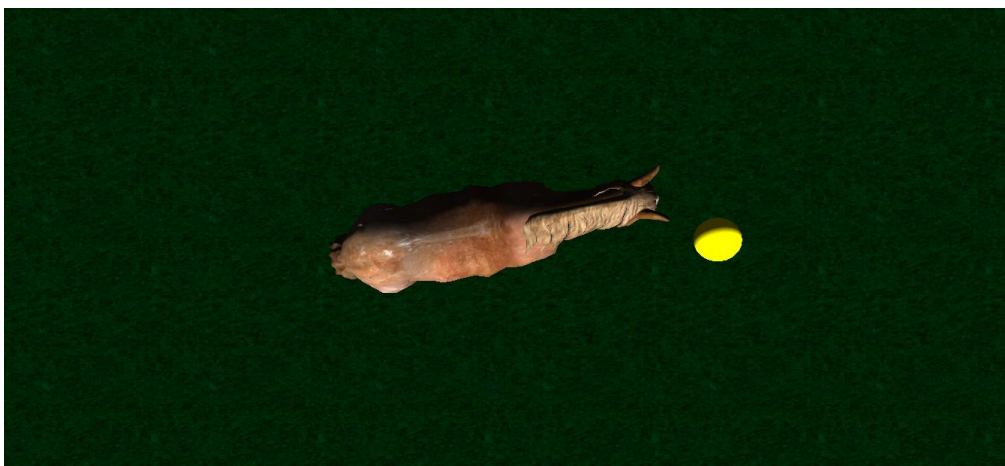
A. Skenario

Skenario ketiga dilakukan untuk menguji kemampuan hewan virtual untuk berinteraksi dengan makanan beracun. Makanan beracun di sini bertindak sebagai pengurang stamina, sakit dan kematian. Disamping itu sebagai pelemahan aktivitas dan memperlambat gerakan. Saat hewan virtual merespon makanan beracun maka hewan virtual tersebut bertindak benar melakukan aksinya.

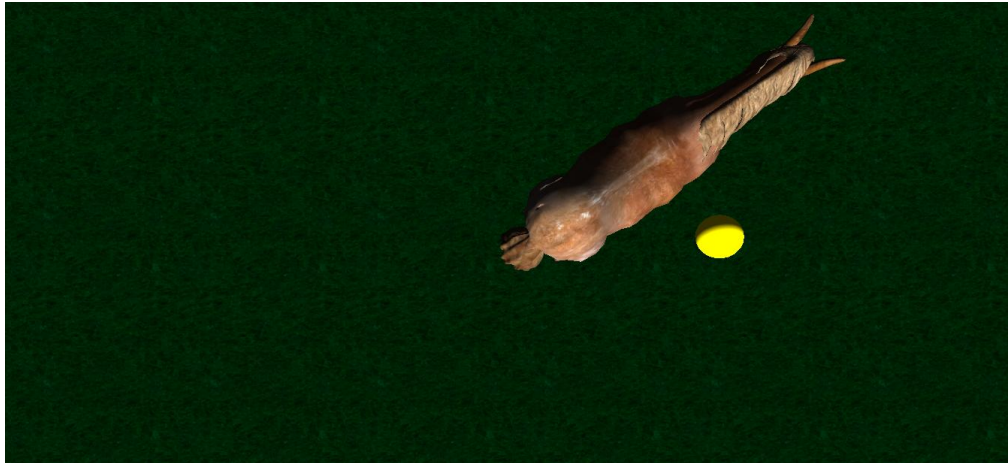
Pada Gambar 4.22, kuda virtual dihadapkan bola kuning (makanan beracun). Pada posisi awal ini, kuda mulai merespon bola beracun dengan mendekatinya. Setelah dekat sekali dengan bola kuning tersebut, kuda virtual memeriksa makanan ini. Karena beracun maka kuda virtual membatalkan untuk memakannya (Gambar 4.23). Kemudian kuda virtual melanjutkan berjalan menjauhi bola kuning tersebut (Gambar 4.24).



Gambar 4.22. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama-sama bola kuning.



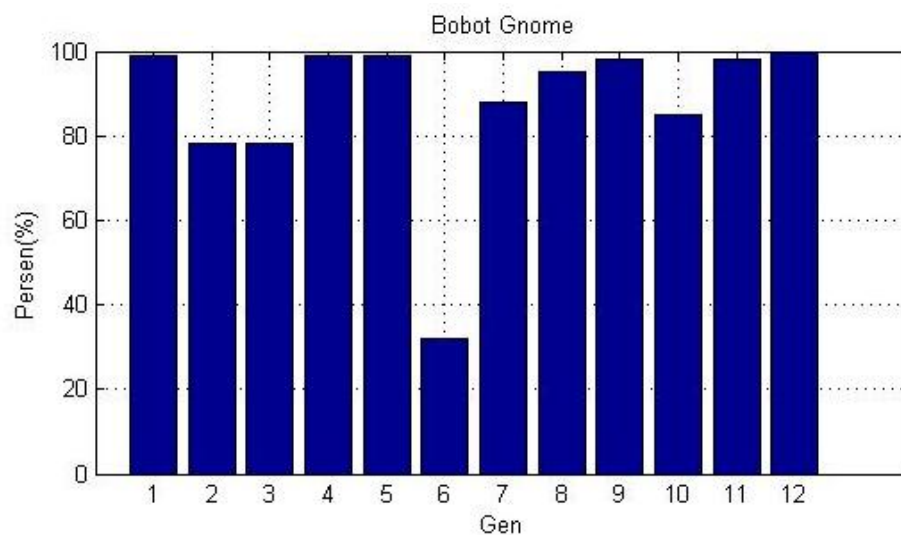
Gambar 4.23. Kuda virtual 3D mendekati bola kuning.



Gambar 4.24. Kuda virtual 3D menjauhi bola kuning.

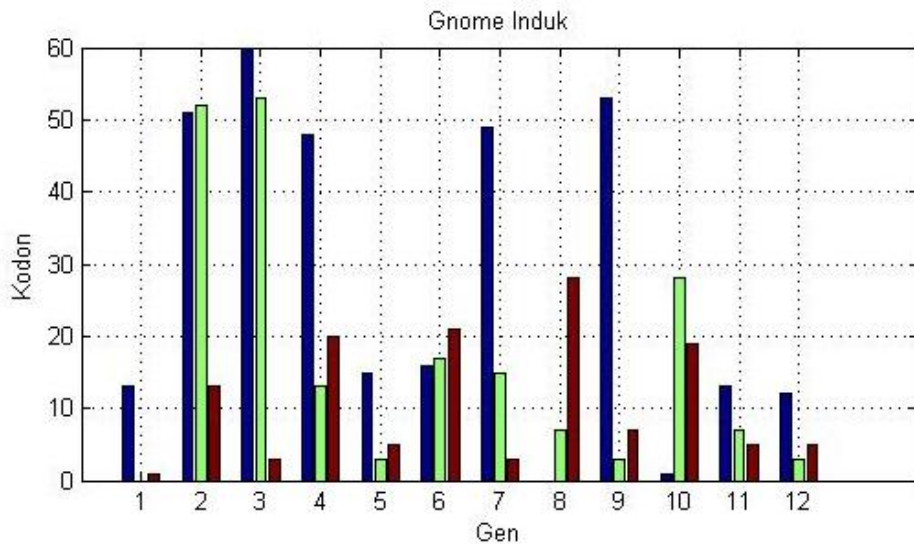
B. Hasil

Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.25, nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 32 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-6, sedangkan indeks gen lainnya di atas 78 hingga 100.



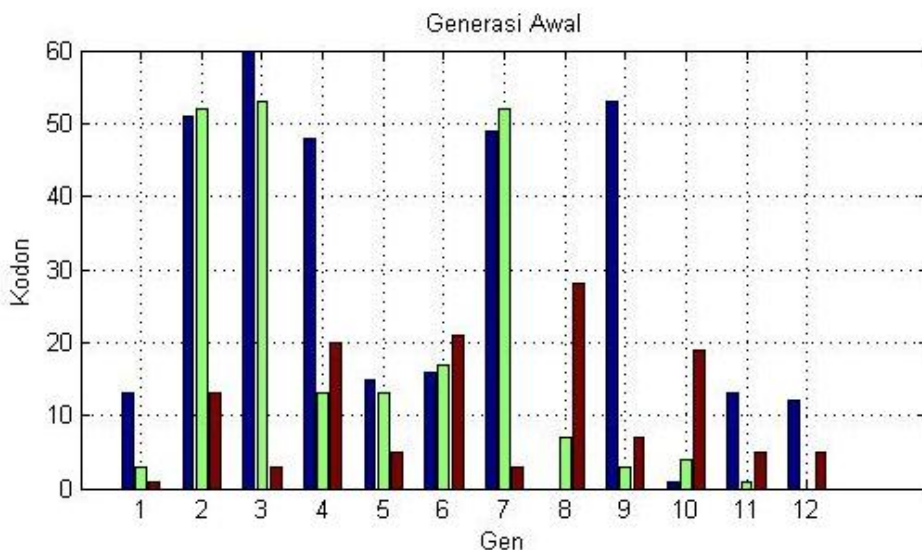
Gambar 4.25. Bobot gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.26), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



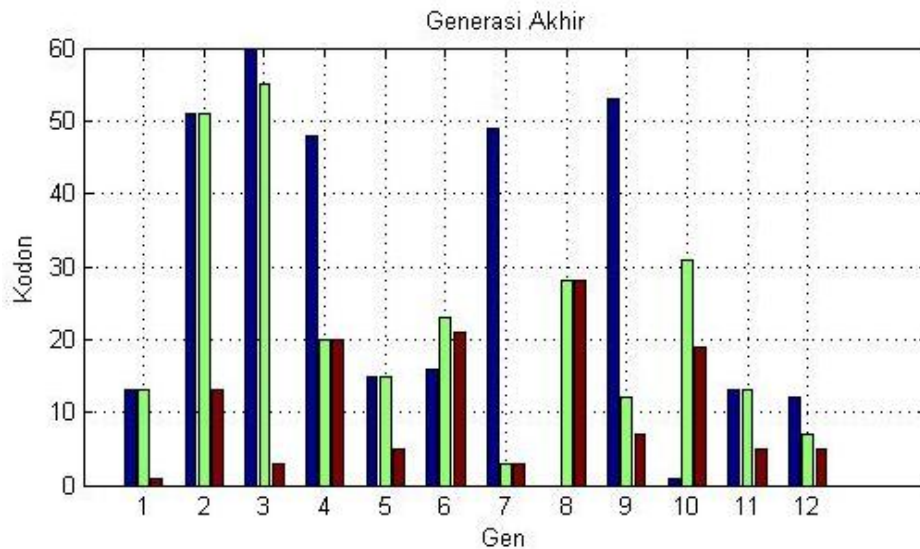
Gambar 4.26. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.27), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



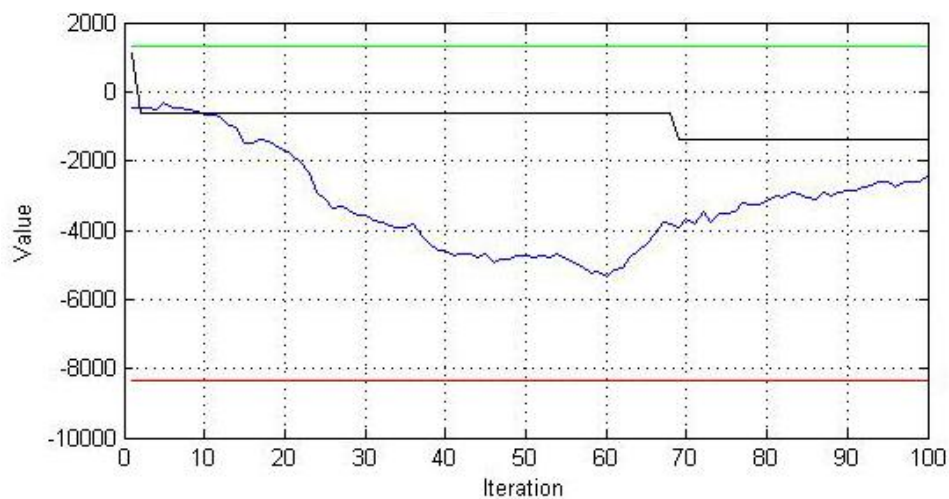
Gambar 4.27. Generasi Pertama

Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.28), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



Gambar 4.28. Generasi Terakhir

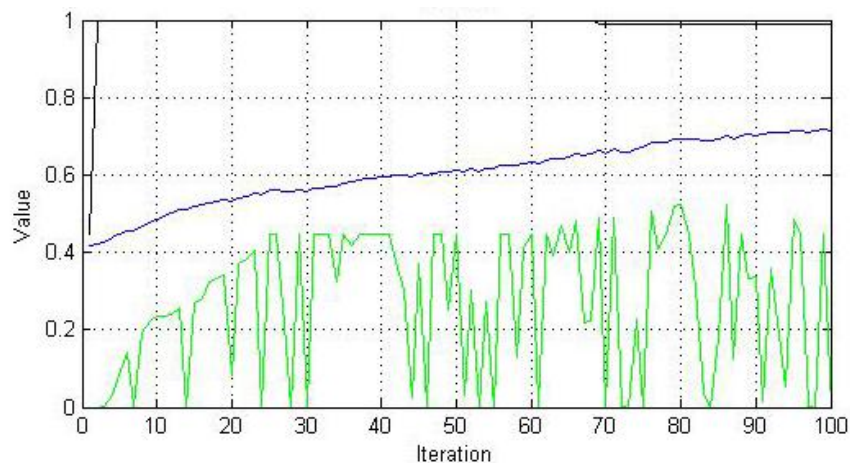
Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.20) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan indikator aksi yang dilakukan, garis hijau menunjukkan indikator inisialisasi dari agen, garis biru menunjukkan indikator prioritas rata-rata dari populasi dan garis merah menunjukkan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam dengan rentang perubahan aksi diantara nilai -1673 hingga 1458 sedikit mengarah ke garis merah. Artinya agen tidak berminat dengan target yang diletakan pada lingkungan berupa lapangan berumput.



Gambar 4.29. Prioritas pemilihan aksi

Nilai fungsi fitness hasil percobaan ini (Gambar 4.30) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitness dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitness dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitness dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitness dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai

bergerak dari 0.43 hingga menuju 0.72, sedangkan garis merah dan hitam berada di skala 1. Garis hijau bergerak dari skala 0 hingga 0.5. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak menggunakan aksi berstatus walk, jump dan run.



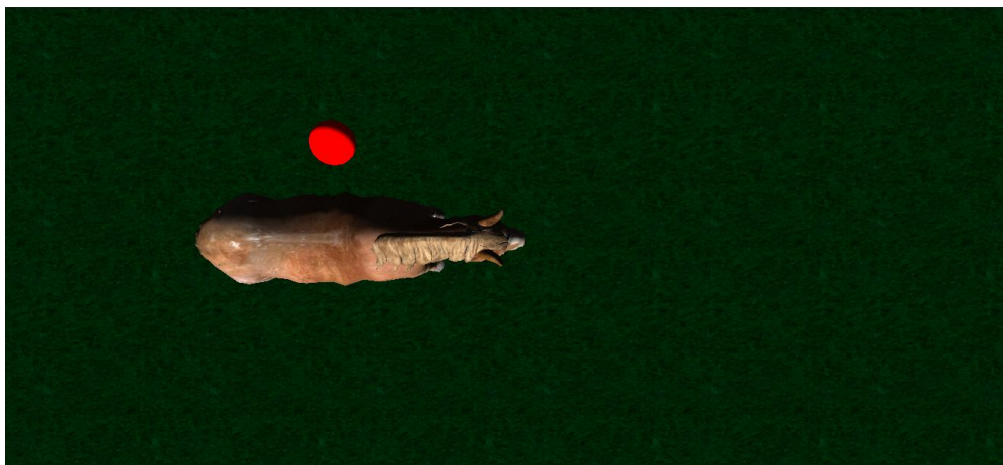
Gambar 4.30. Fungsi fitness

4.4. Perilaku hewan virtual dengan suhu panas

A.Skenario

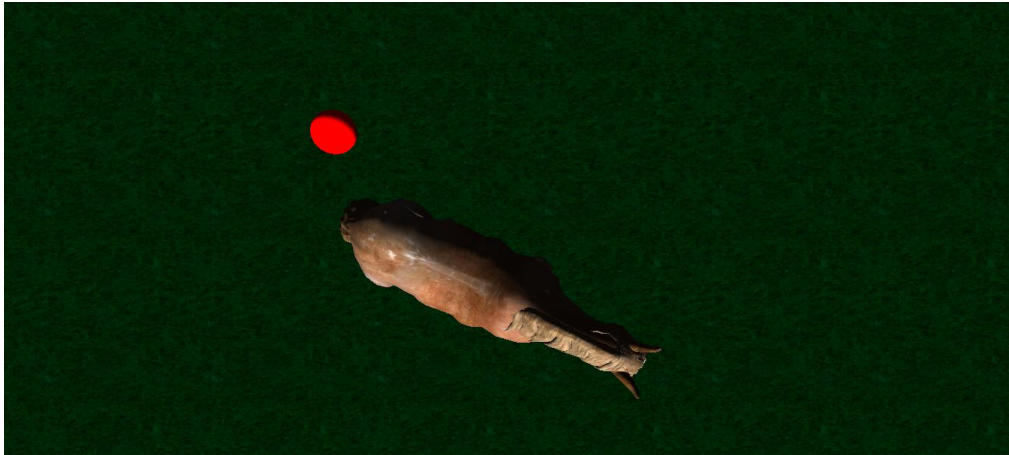
Percobaan keempat dilakukan untuk menguji kemampuan hewan virtual untuk berinteraksi dengan suhu panas. Suhu panas di sini bertindak sebagai pengurang stamina, sakit dan emosi. Disamping itu juga bisa sebagai penyemangat aktivitas dan mempercepat gerakan. Saat hewan virtual merespon suhu panas maka hewan virtual tersebut bertindak benar melakukan aksinya.

Pada Gambar 4.31, kuda virtual berada di dekat bola merah. Dalam posisi ini kuda virtual akan merasakan panas yang dipancarkan oleh bola merah.



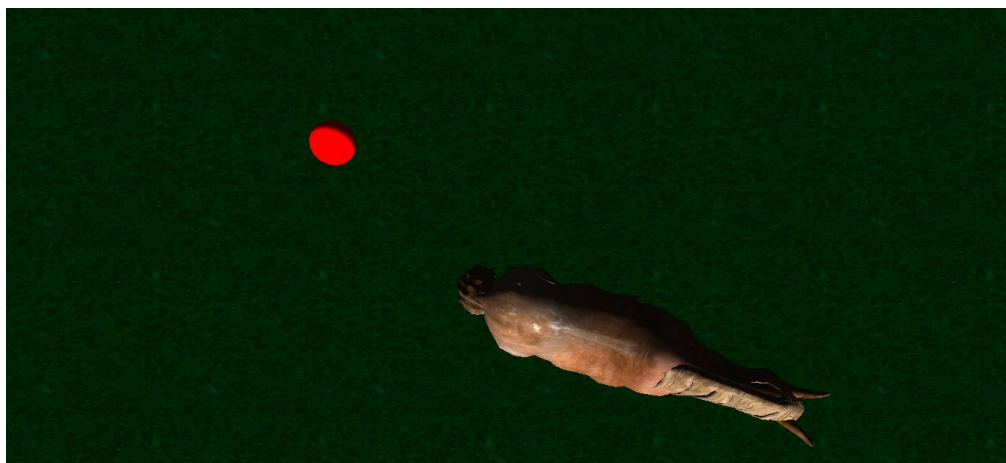
Gambar 4.31. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama bola merah (suhu panas).

Pada Gambar 4.32, kuda virtual merasa kepanasan saat berada di dekat bola merah. Kuda virtual mulai menjauhi bola merah tersebut dengan aksi berlari. Suhu panas yang berlebihan membuat kuda virtual lebih memilih untuk menjauhi dengan cepat. Aksi yang dilakukan adalah berlari secepatnya agar jauh dari bola merah.



Gambar 4.32. Kuda virtual 3D berlari menghindari bola merah (suhu panas).

Pada Gambar 4.33, kuda virtual berhenti berlari setelah jauh dari jangkauan suhu panas yang berasal dari bola merah.

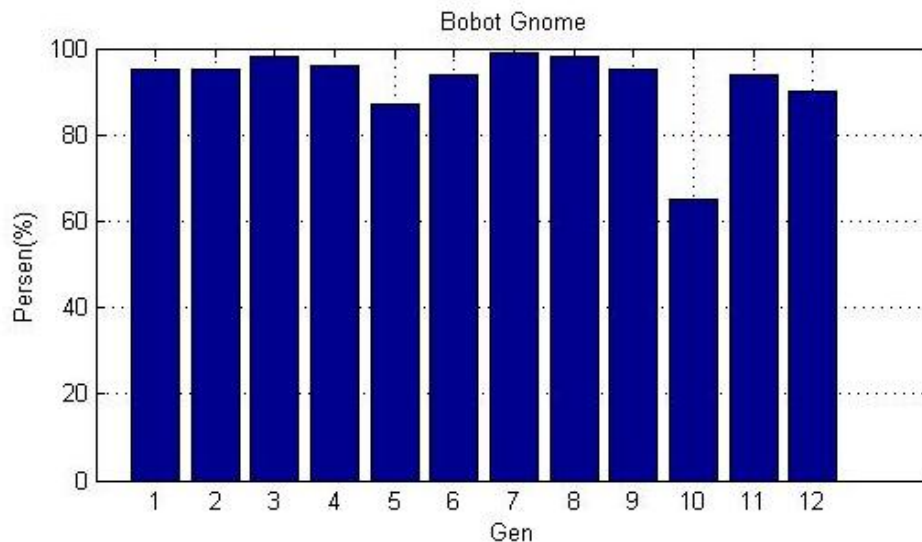


Gambar 4.33. Kuda virtual 3D berhenti setelah bola merah (suhu panas) di luar jangkauannya.

B. Hasil

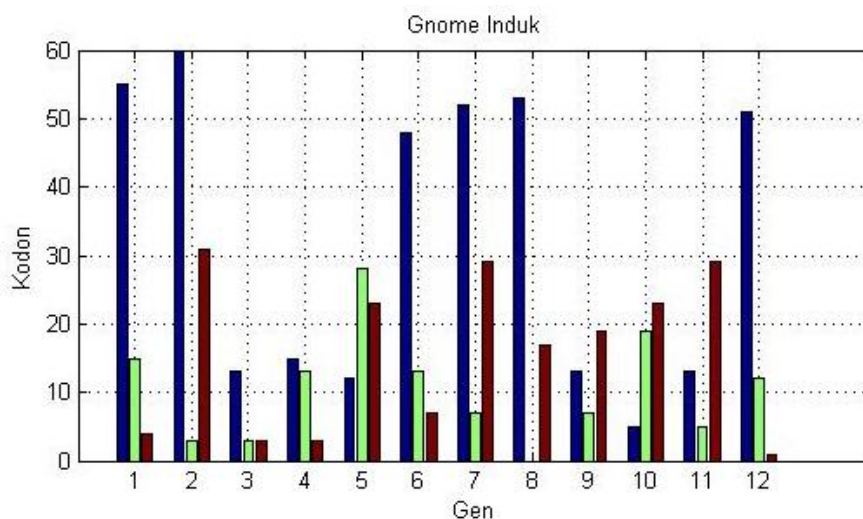
Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.34,

nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 66 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-10, sedangkan indeks gen lainnya di atas 87 hingga 100.



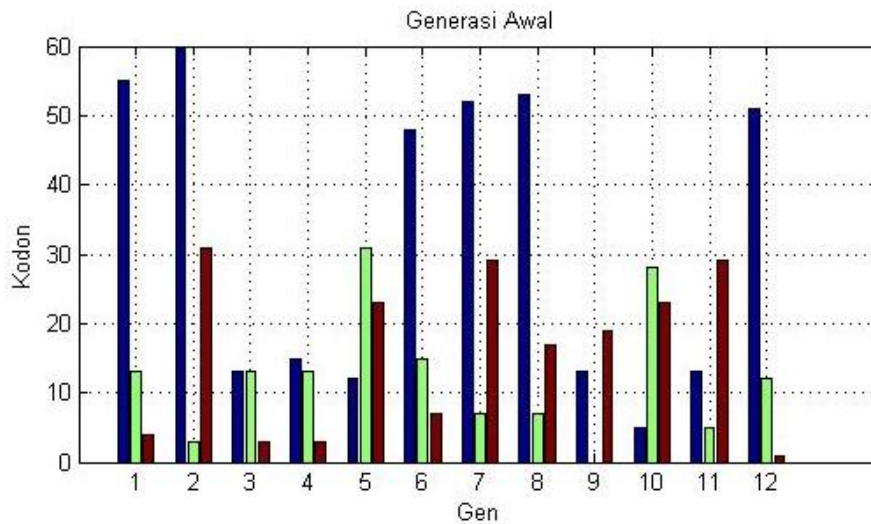
Gambar 4.34. Bobot Gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.35), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



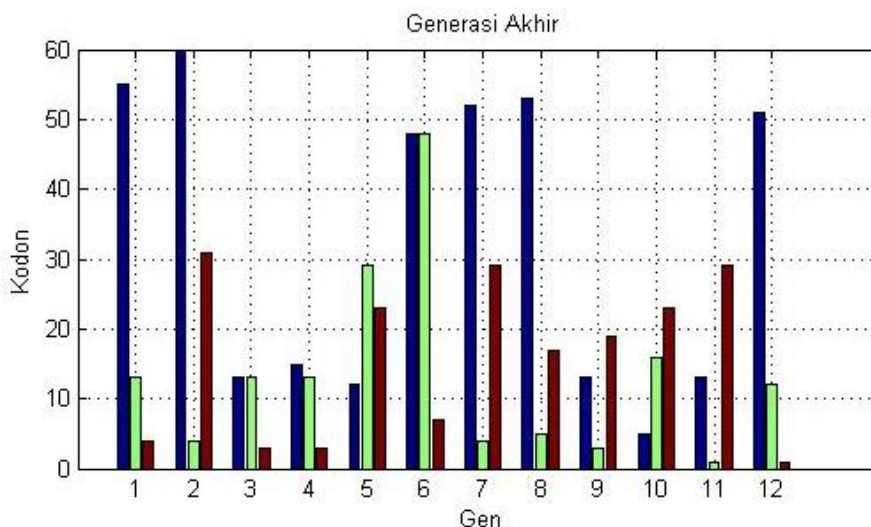
Gambar 4.35. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.36), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



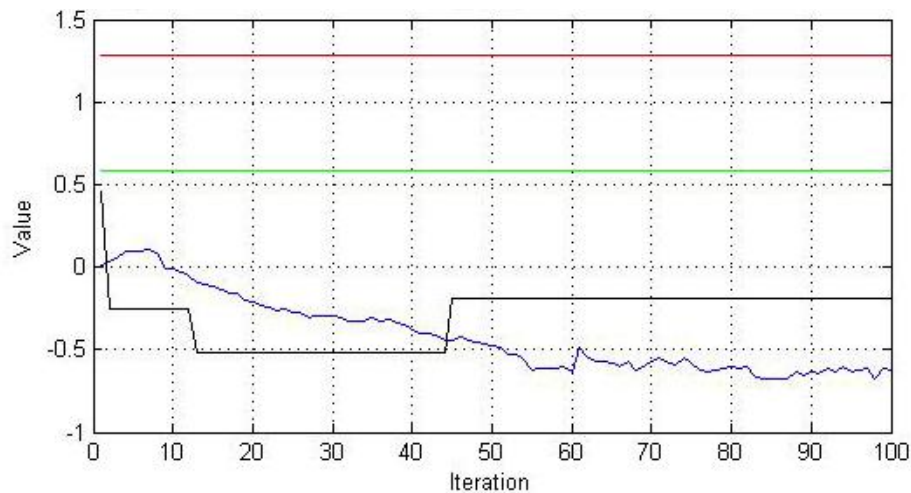
Gambar 4.36. Generasi pertama

Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.37), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



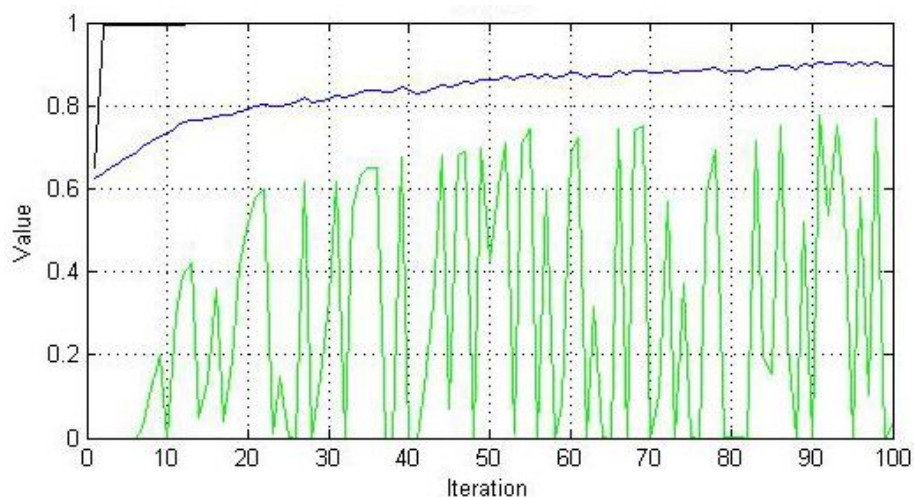
Gambar 4.37. Generasi Terakhir

Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.38) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan indikator aksi yang dilakukan, garis hijau menunjukkan indikator inisialisasi dari agen, garis biru menunjukkan indikator prioritas rata-rata dari populasi dan garis merah menunjukkan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam dengan rentang perubahan aksi diantara nilai -0.5 hingga 0.5 sedikit menjauh dari garis merah. Artinya agen lebih banyak menghindari target.



Gambar 4.38. Prioritas pemilihan aksi

Nilai fungsi fitness hasil percobaan ini (Gambar 4.39) terdiri dari empat garis indicator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitness dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitness dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitness dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitness dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai bergerak dari 0.64 hingga menuju 0.90, sedangkan garis merah dan hitam berada di skala 1. Garis hijau bergerak dari skala 0 hingga 0.78. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak menggunakan aksi berstatus walk, jump dan run.



Gambar 4.39. Fungsi fitness

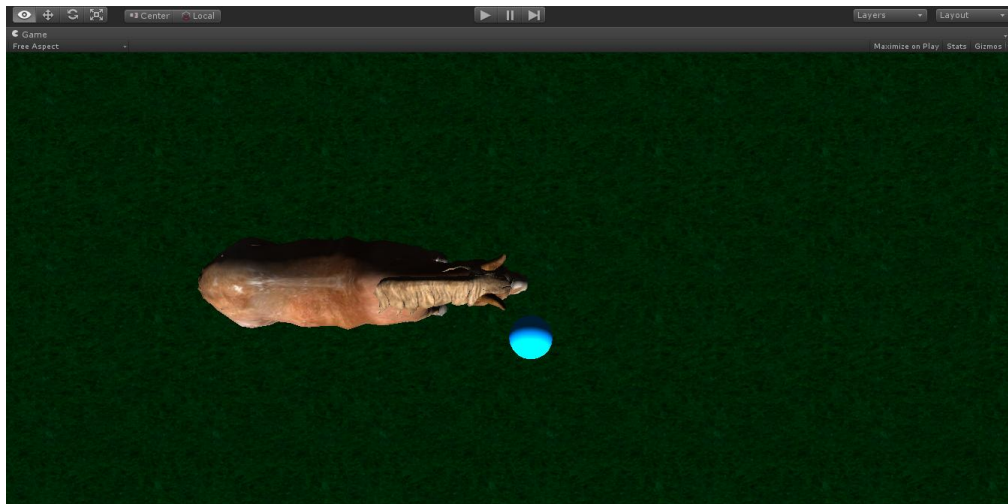
4.5. Perilaku hewan virtual dengan suhu dingin

A. Skenario

Percobaan kelima dilakukan untuk menguji kemampuan hewan virtual untuk berinteraksi dengan suhu dingin. Suhu dingin di sini bertindak sebagai pengurang stamina,

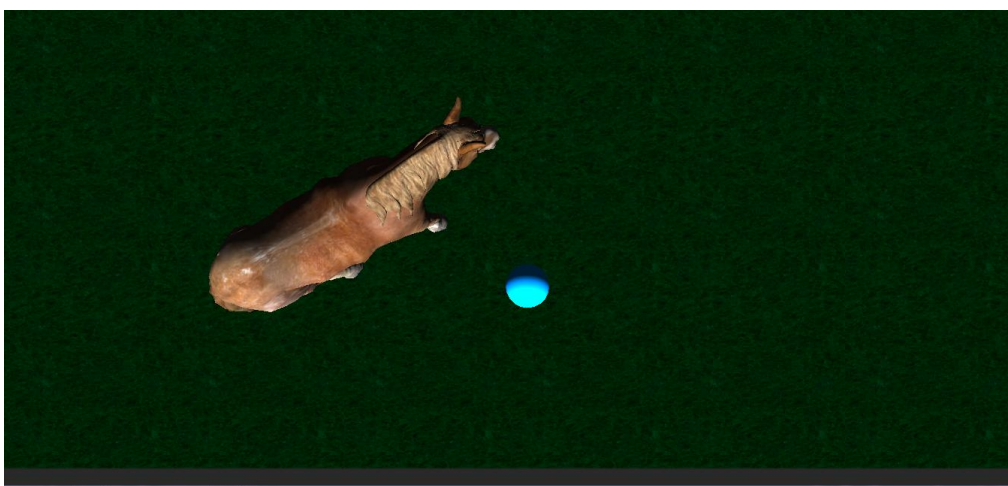
sakit dan emosi. Disamping itu sebagai pelemah aktivitas dan memperlambat gerakan. Saat hewan virtual merespon suhu dingin maka hewan virtual tersebut bertindak benar melakukan aksinya.

Pada Gambar 4.40, kuda virtual berada di dekat bola biru. Dalam posisi ini kuda virtual akan merasakan dingin yang dirambatkan oleh bola biru.



Gambar 4.40. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama bola biru (suhu dingin).

Pada Gambar 4.41, kuda virtual merasa kedinginan saat berada di dekat bola biru. Kuda virtual mulai menjauhi bola biru tersebut dengan aksi berjalan. Suhu dingin yang berlebihan membuat kuda virtual lebih memilih untuk menjauhi dengan perlahan. Aksi yang dilakukan adalah berjalan lambat agar jauh dari bola biru.



Gambar 4.41. Kuda virtual 3D berjalan menghindari bola biru (suhu dingin).

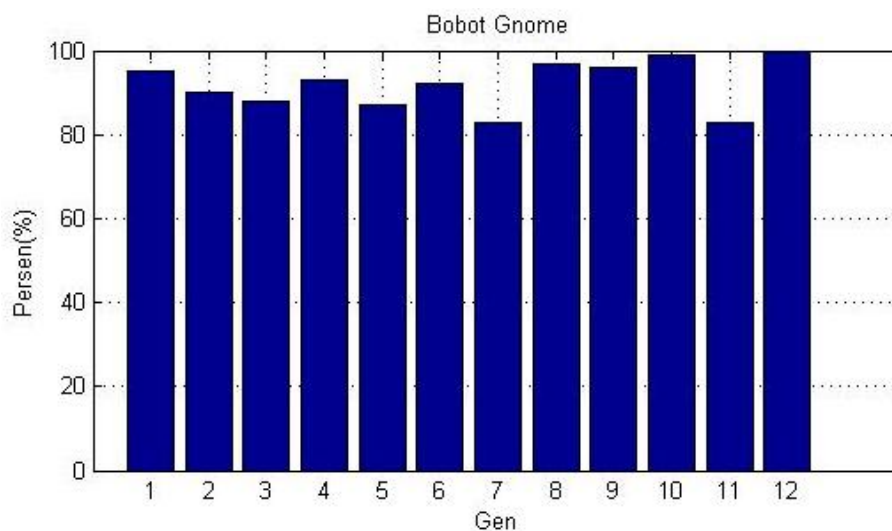
Pada Gambar 4.42, kuda virtual berhenti berlari setelah jauh dari jangkauan suhu dingin yang berasal dari bola biru.



Gambar 4.42. Kuda virtual 3D berhenti setelah bola biru (suhu dingin) di luar jangkauannya.

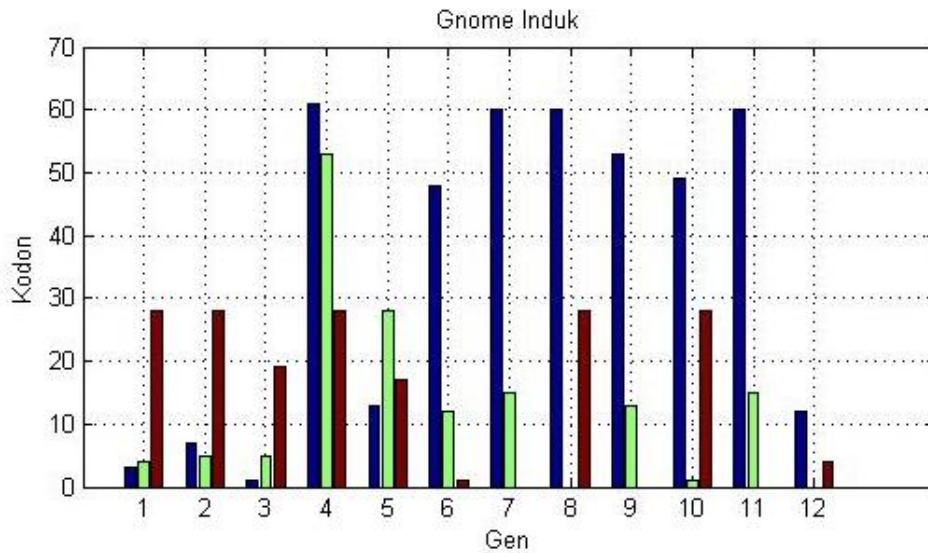
B. Hasil

Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.43, nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 82 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-7, sedangkan indeks gen lainnya di atas 82 hingga 100.



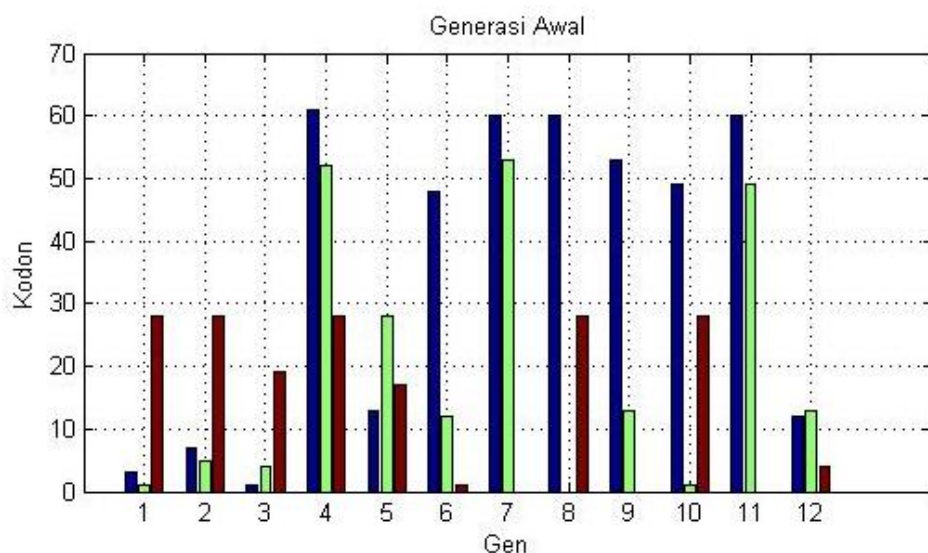
Gambar 4.43. Bobot gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.44), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



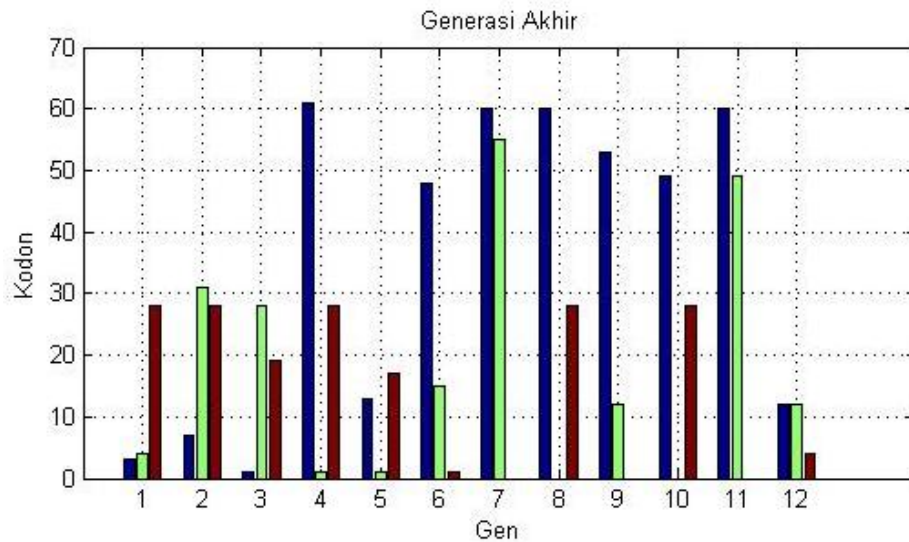
Gambar 4.44. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.45), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



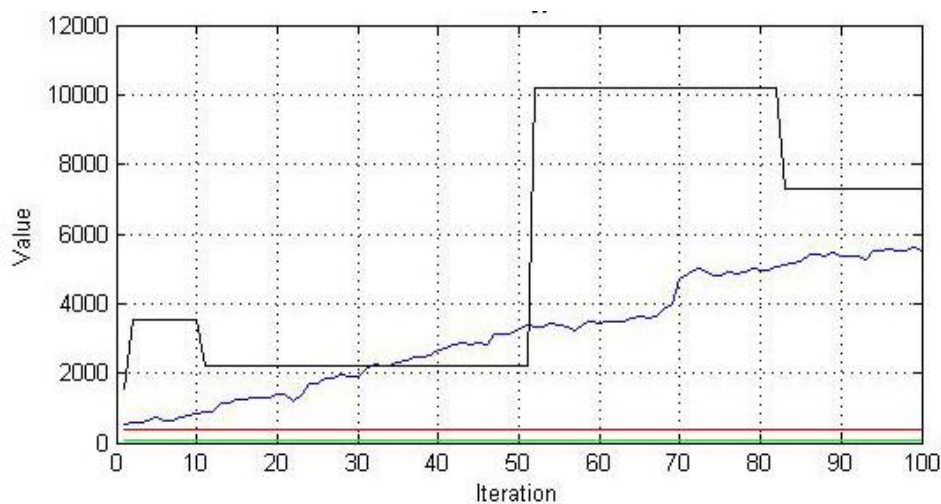
Gambar 4.45. Generasi pertama

Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.46), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



Gambar 4.46. Generasi Terakhir

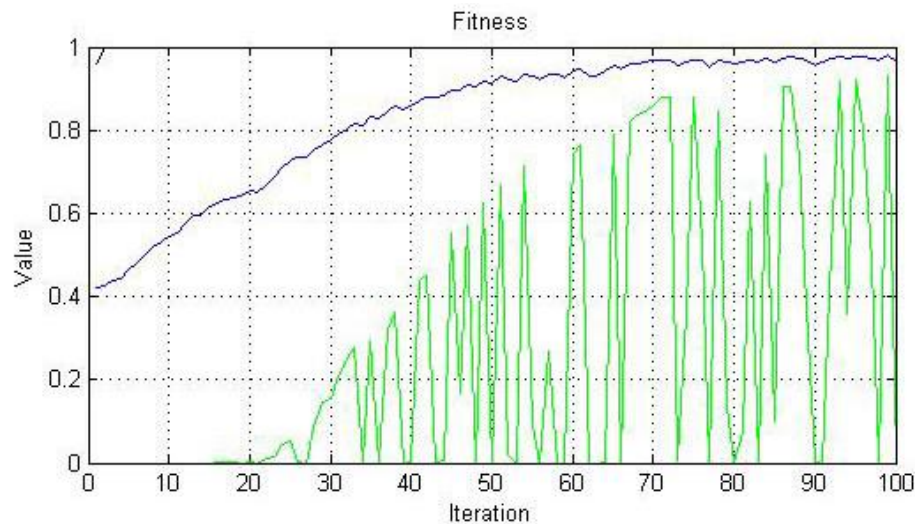
Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.20) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan indikator aksi yang dilakukan, garis hijau menunjukkan indikator inisialisasi dari agen, garis biru menunjukkan indikator prioritas rata-rata dari populasi dan garis merah menunjukkan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam dengan rentang perubahan aksi diantara nilai 1933 hingga 10710 menjauhi garis merah. Artinya agen lebih agresif menjauhi target.



Gambar 4.47. Prioritas pemilihan aksi

Nilai fungsi fitness hasil percobaan ini (Gambar 4.48) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitness dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitness dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitness dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitness dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai bergerak dari 0.43 hingga menuju 0.98, sedangkan garis merah dan hitam berada di skala

1. Garis hijau bergerak dari skala 0 hingga 0.96. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak menggunakan aksi berstatus walk, jump, rotation dan run.



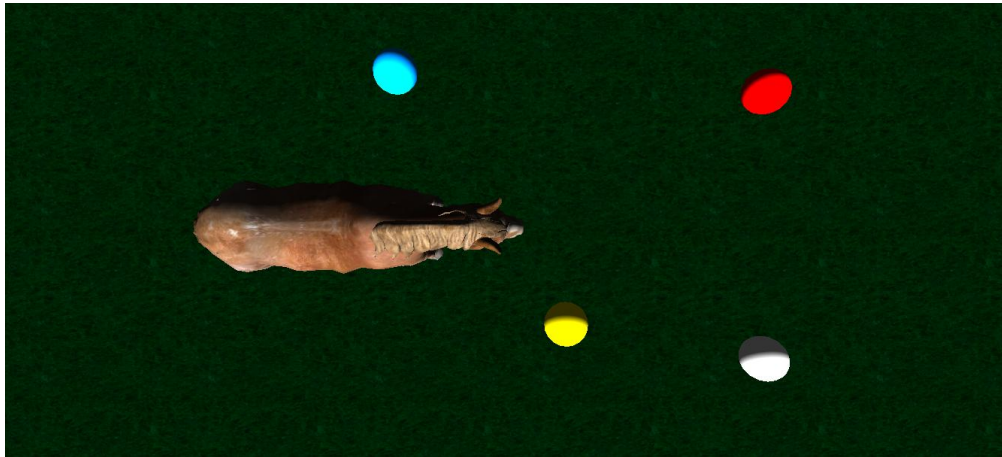
Gambar 4.48. Fungsi fitness

4.6. Perilaku hewan virtual dengan makanan dan suhu

A. Skenario:

- Posisi hewan virtual berada di tengah-tengah pada koordinat 3D (0,0,0).
- Bola warna kuning di sekeliling hewan virtual pada lingkaran pertama sebanyak 4 buah bola. Fungsi bola kuning adalah makanan beracun yang tidak boleh dimakan oleh hewan virtual.
- Bola warna merah di sekeliling hewan virtual pada lingkaran kedua sebanyak 4 buah bola dan ditempatkan dua di depan dan dua di belakangnya hewan virtual. Fungsi bola merah adalah suhu terlalu panas yang harus dihindari oleh hewan virtual.
- Bola warna biru di sekeliling hewan virtual pada lingkaran kedua sebanyak 4 buah bola dan ditempatkan dua di kiri dan dua di kanannya hewan virtual. Fungsi bola biru adalah suhu terlalu dingin yang harus dihindari oleh hewan virtual.
- Bola warna putih di sekeliling hewan virtual pada lingkaran ketiga sebanyak 8 buah bola. Fungsi bola putih adalah makanan yang boleh dimakan oleh hewan virtual.
- Tujuan yang dicapai pada skenario ini adalah hewan virtual mampu mendapatkan makanan serta mampu melewati rintangan berupa suhu dan racun.

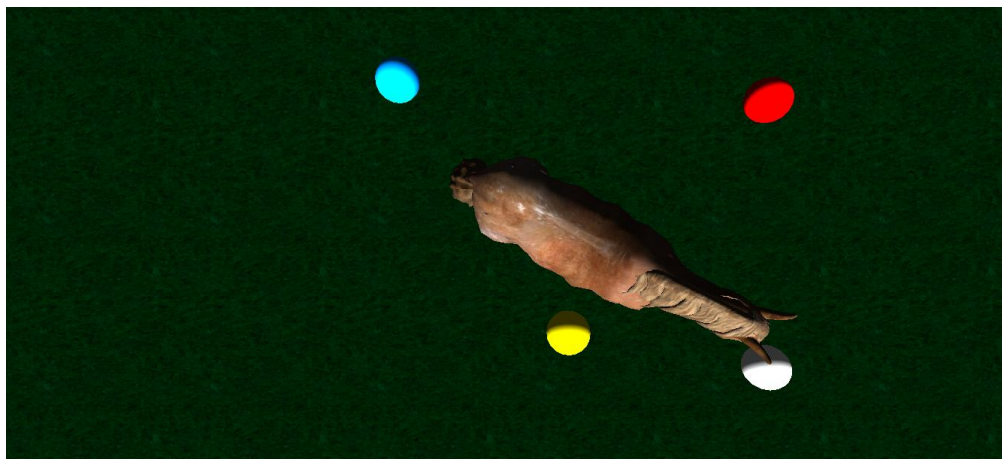
Pada Gambar 4.49, kuda virtual berada diantara bola biru, bola kuning, bola merah dan bola putih. Dalam skenario ini, kuda virtual diuji dengan memberikan pilihan bola-bola yang berwarna-warni.



Gambar 4.19.

Gambar 4.49. Kuda virtual 3D ditempatkan bersama beragam warna-warni bola.

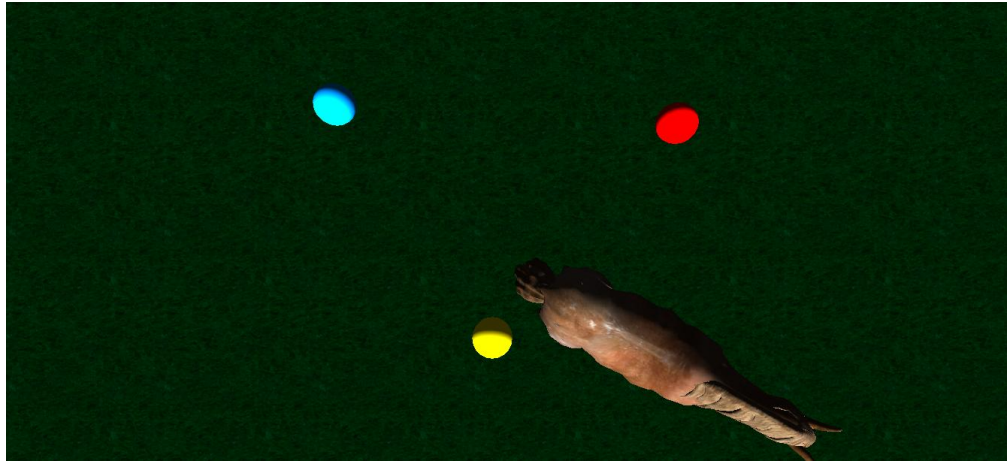
Pada Gambar 4.50, kuda virtual mulai tertarik dengan bola putih. Kuda virtual bergerak mendekati bola putih dengan melewati bola kuning. Kuda virtual tidak tertarik dengan bola kuning dan hanya melewatinya saja. Sedangkan bola putih lebih menarik untuk dimakan.



Gambar 4.20.

Gambar 4.50. Kuda virtual 3D mulai memilih bola putih dan mengabaikan bola lainnya.

Gambar 4.51, Kuda virtual bergerak menghindari bola biru dan merah setelah selesai memakan bola putih. Kuda virtual berpindah untuk mencari tempat aman untuk berdiam diri.



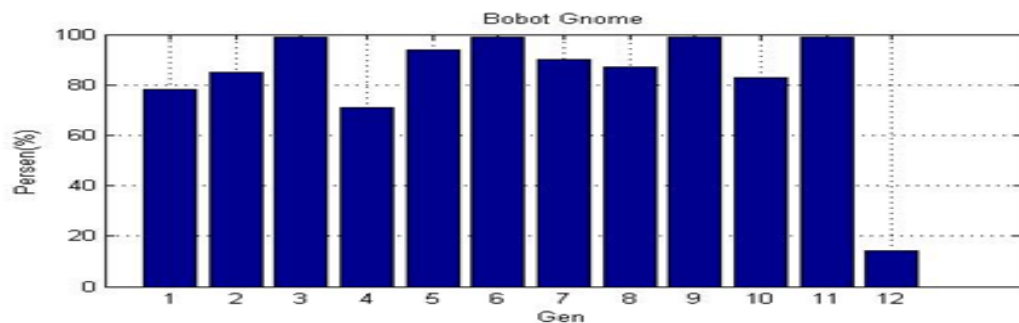
Gambar 4.21.

Gambar 4.51. Kuda virtual 3D menghindari ke tempat aman setelah selesai memakan bola putih.

B. Hasil :

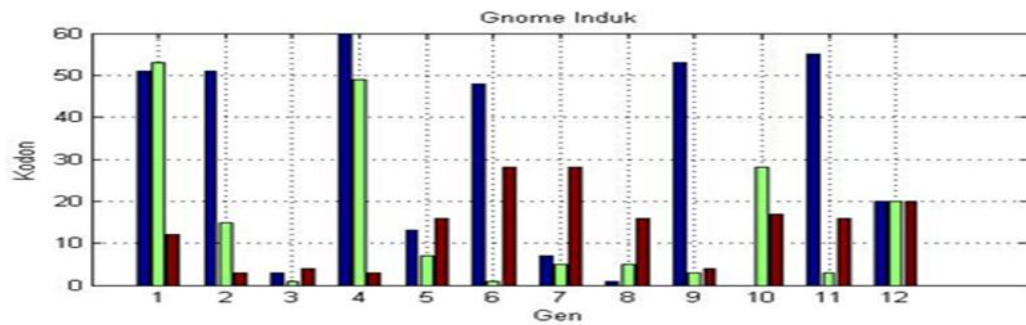
Hewan virtual berhasil memakan bola warna putih dan mampu melepaskan diri dari kurungan suhu yang terlalu panas dan yang terlalu dingin dengan berpindah ke arah pinggiran lapangan dalam waktu sekitar dua menit.

Bobot gnome digunakan untuk membangkitkan berapa persen jangkauan populasi yang akan diciptakan secara random. Pada percobaan ini didapat hasil seperti Gambar 4.52, nilai bobot gnome dari 12 gen memiliki rentang 17 hingga 100. Bobot terkecil berada di gen ke-12, sedangkan indeks gen lainnya di atas 65 hingga 100.



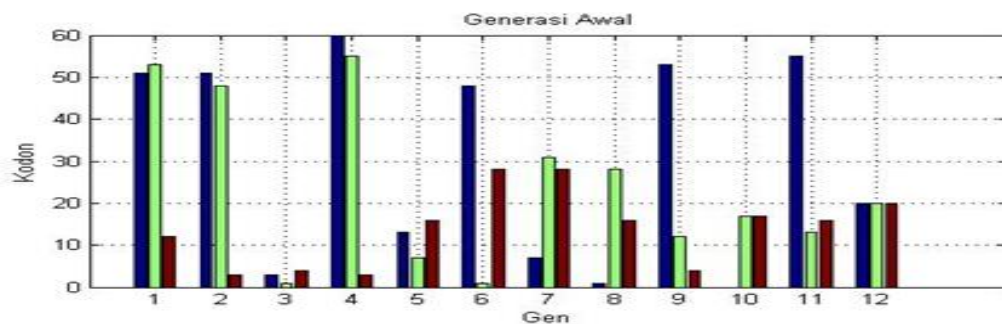
Gambar 4.52. Bobot gnome

Induk gnome memiliki triploid kromosom (Gambar 4.53), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



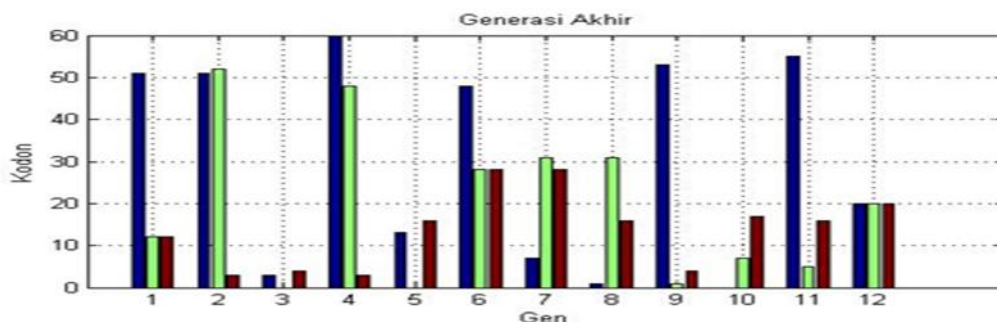
Gambar 4.53. Gnome induk

Pada iterasi ke-1, generasi pertama dari proses siklus algoritma genetika didapatkan induk kromosom baru memiliki triploid kromosom (Gambar 4.54), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



Gambar 4.54. Generasi pertama

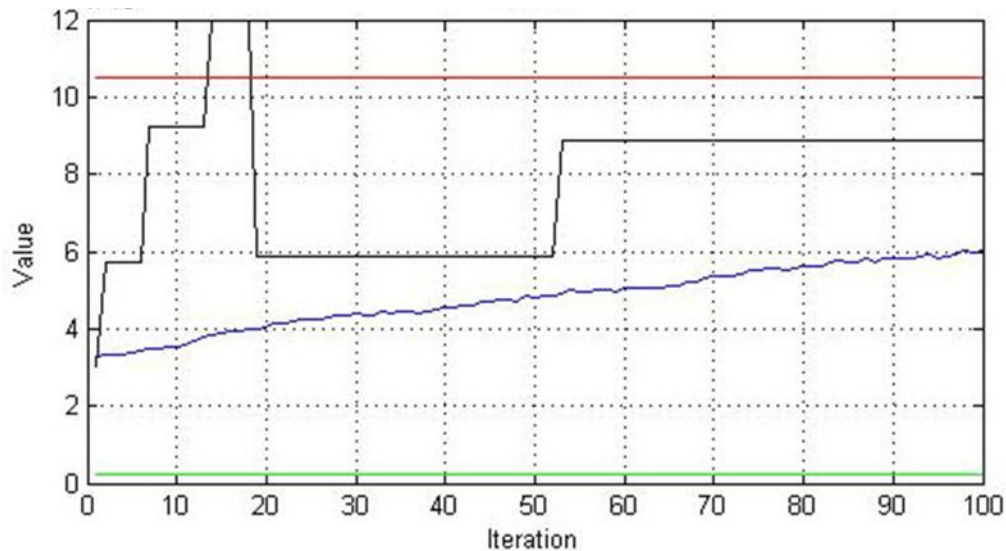
Pada iterasi ke-100, generasi terakhir dari proses algoritma genetika didapatkan induk kromosom terbaik memiliki triploid kromosom (Gambar 4.55), yaitu: kromosom minimo (balok warna biru), kromosom nomino (balok warna hijau) dan kromosom maximo (balok warna merah). Nilai masing-masing kromosom dalam penyandian (enkoding) dalam bentuk data genotip bersatuan kodon dengan nilai diantara 0 hingga 63.



Gambar 4.55. Generasi terakhir

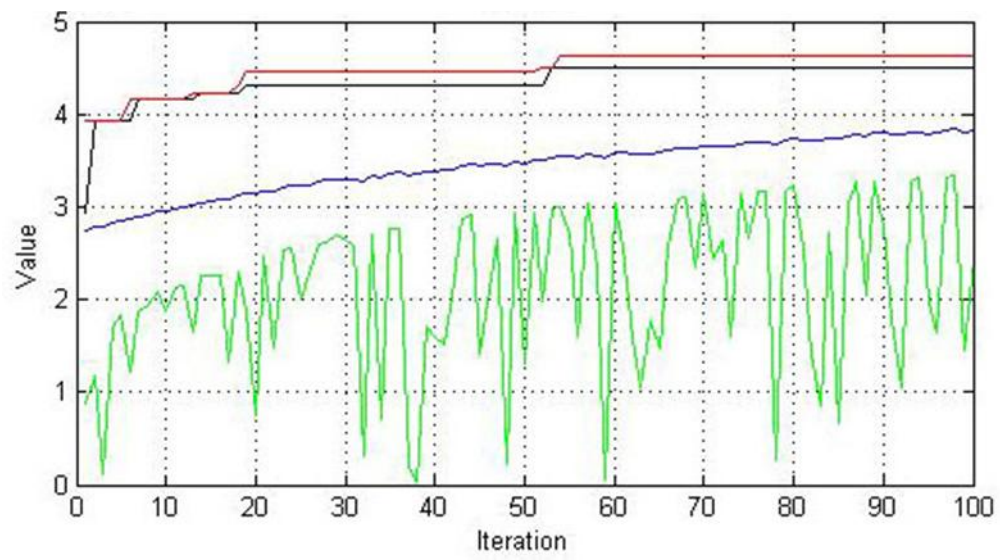
Prioritas pemilihan aksi hasil percobaan ini (Gambar 4.20) terdiri dari empat garis indicator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan indikator aksi yang

dilakukan, garis hijau menunjukkan indikator inisialisasi dari agen, garis biru menunjukkan indikator prioritas rata-rata dari populasi dan garis merah menunjukkan indikator acuan target. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna hitam dengan rentang perubahan aksi diantara nilai 3.27 hingga 12.00 secara berlahan-lahan mendekati garis merah. Artinya agen tertarik dengan target makanan dan menghindari target selain makanan.



Gambar 4.56. Prioritas pemilihan aksi

Nilai fungsi fitness hasil percobaan ini (Gambar 4.30) terdiri dari empat garis indikator dengan iterasi sebanyak 100. Garis hitam menunjukkan nilai fitness dari kromosom nomino, garis hijau menunjukkan nilai fitness dari kromosom minimo, garis biru menunjukkan nilai rata-rata fitness dari kromosom actual dan garis merah menunjukkan nilai fitness dari kromosom maximo. Perubahan aksi ditentukan oleh garis yang berwarna biru dengan nilai bergerak dari 0.26 hingga menuju 0.78, sedangkan garis merah dan hitam saling berhimpitan berada di skala 0.44 hingga 0.46 diakhir iterasi. Garis hijau bergerak dari skala 0.09 hingga 0.34. Artinya agen menuju titik optimal dengan lebih banyak bergerak lebih pelan-pelan aksi berstatus walk, jump dan rotation.



Gambar 4.57. Fungsi fitness

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan tentang otonomi perilaku hewan virtual kuda menggunakan optimasi pemilihan aksi berbasis algoritma genetika yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, yaitu :

1. Nilai optimal dari pemilihan aksi pada perilaku hewan virtual kuda ditunjukkan dengan nilai fitness rata-rata diantara 0.26 hingga 0.98 dan nilai optimal fitness diantara 0.43 hingga 0.72 dengan kondisi generasi lebih besar atau sama dengan 100 siklus pada algoritma genetika.
2. Perilaku hewan virtual kuda yang optimal memiliki kromosom dengan deret gen pada algoritma genetika dengan nilai fitness terbaik adalah 0.72. Dengan aksi berjalan, lari, loncat dan diam. Waktu durasi yang ditempuh tiap pergantian dengan nilai rata-rata 7 detik.

Percobaan yang dilakukan dapat mengoptimasi pemilihan aksi berdasarkan reaksi dari lingkungan, memiliki inisiatif sendiri yang cerdas guna merespon target dan dapat melakukan gerakan acak yang unik pada setiap jenis aksinya. Hal ini terjadi karena hewan virtual akan selalu memproses data lingkungan yang masuk untuk mendapat perilaku yang optimal pada pemilihan aksi dan aksi berupa gerakan bebas tanpa ada skenario untuk mengendalikannya secara langsung tetapi hanya memberikan pancingan berupa benda-benda perantara agar secara otonomi mau merespon benda-benda tersebut.

5.2. Saran

Kompleksitas pada penelitian ini dapat ditingkatkan dengan memberikan target yang bergerak, menambah koloni pada hewan virtual dan lingkungan yang dinamis. Adanya target yang bergerak akan memberikan respon yang interaktif. Penambahan hewan virtual sejenis akan menghasilkan koloni dengan mendapati keragaman perilaku yang unik pada setiap individunya. Lingkungan yang dinamis akan memberikan suasana yang mendekati realitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ying-Hong Liao and Chuen-Tsai Sun, “An Educational Genetic Algorithms Learning Tool”, in IEEE, 2001.
- [2] Darrel Whitley, “A Genetic Algorithm Tutorial”, Computer Science Department, Colorado State University, Fort Collins.
- [3] Mitchell Melanie, “An Introduction to Genetic Algorithms”, A Bradford Book The MIT Press, Cambridge, Massachusetts - London, England, Fifth printing, 1999
- [4] Edward Keedwell and Ajit Narayanan, “Intelligent Bioinformatics”, School of Engineering, Computer Science and Mathematics University of Exeter, UK, 2005.
- [5] Jiann-Hong Lin, Li-Ren Huang, “Chaotic Bee Swarm Optimization Algorithm for Path Planning of Mobile Robots”, *Proceedings of The 10th WSEAS International Conference on Evolutionary Computing*, 2009, p. 84-89
- [6] Stan Franklin, “Autonomous Agents as Embodied AI”, *Cybernetics and System*, 28 : 6 (1997) 499-520
- [7] James Ingham, “What is an Agent?”, Centre for Software Maintenance University of Durham, 1997
- [8] Darren Doherty, Colm O’Riordan, “The Design and Implementation of AI in Modern Computer Games”, Department of Information Technology National University of Ireland Galway
- [9] <http://biologimediacentre.com/evolusi-pemahaman-teori-dan-bukti-evolusi/>

BIOGRAFI PENULIS

Nama : Krisna Yuwono Fora
TTL : Sidoarjo, 29 Oktobet 1974
Alamat : Desa Kemuning RT.11/RW.03,
Kec. Tarik, Kab. Sidoarjo,
Jawa Timur
HP : 08563178731
Email : kyfora@gmail.com



Jenjang Pendidikan :

1. Tahun 1981 – 1986 : SDN Kemuning I, Sidoarjo
2. Tahun 1987 – 1989 : SMPN I Tarik, Sidoarjo
3. Tahun 1990 – 1992 : SMA Negeri Sooko, Mojokerto
4. Tahun 1993 – 1997 : Teknik Elektro ITATS, Surabaya

Riwayat Pekerjaan :

1. Tahun 1997 – 2000 : Guru Komputer di SDK dan SMP Bethel Sulung, Surabaya
2. Tahun 2001 – 2007 : Staff Maintenance di PT Maxim Maspion, Sidoarjo
3. Tahun 2008 – 2012 : Guru Multimedia di SMK Tarik, Sidoarjo
4. Tahun 2013 – sekarang : Dosen Multimedia di STIKOM, Surabaya